

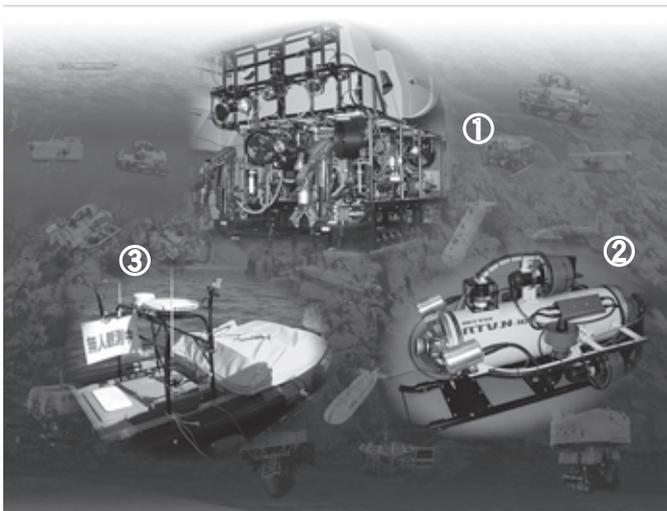
三井 造船 技報

平成 26 年 2 月 ■ 第 211 号

MITSUI ZOSEN TECHNICAL REVIEW No. 211 2014



水中機器製品開発動向



表紙説明

水中機器製品開発動向

三井造船の水中機器は、水深1万メートルまでをカバーする幅広いラインアップをそろえている。近年は、排他的経済水域内の海底資源開発に注目が集まり、これに対応する機器を開発してきた。この最中に東日本大震災が発生したため、急きょ震災対応の支援作業に参加した。当社の水中機器、水上機器は遠隔操作性及び自律性に優れており、三陸沖海底調査、福島沖放射性物質モニタリング調査など、その能力を十分発揮することができた。本報の製品・技術解説ではその詳細を報告している。

①海洋資源探査用無人探査機 “かいこう Mk-IV”

②小型水中テレビロボット “RTV.N-100EXY”

③無人調査船 “DELPHIS”

Cover

Development of Subsea Products

Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd. (MES) has been providing a wide range of subsea products to the market which can be used under water from shallower depth to 10,000 meter ocean depth. In recent years, development of offshore resources in Japan's exclusive economic zone (EEZ) is attracting much attention. Many of our products are efficiently used for such purposes.

After the Great East Japan Earthquake, we also took part in the disaster recovery assistance deploying our products. The remotely operated vehicle (ROV) carried out a lot of humanitarian surveys off the coast of Sanriku area and the unmanned surface vehicle (USV) performed radiation monitoring tasks off Fukushima area. Both of them showed their excellent ability and achieved remarkable results.

In the Products and Technology Explanation, we report the details of our products with their activities.

①ROV for Ocean Resource Exploration “KAIKO Mk-IV”

②Remotely Operated Television Vehicle “RTV.N-100EXY”

③USV “DELPHIS”

三井造船技報

2014年(平成26年)2月・第211号

目次

製品・技術解説

水中機器製品の開発.....	1
船舶・艦艇事業本部 小山 寿史	

技術論文・報告

ハイドレート生成圧搾装置で製造したCO ₂ ハイドレートの基礎特性	7
久本 隆之 高野 宰 伊藤 真人	
船用VPCバイナリー発電装置の開発	13
今井 兼久 佐山 五朗 新開 和男 難波 浩一	
高吸水性アクリル繊維を用いたコンクリート養生マットの開発.....	19
皆田 龍一 今西 謙二 立神 久雄 鈴木 康宏	

製品・技術ニュース

66000重量トン型バルクキャリアの1番船竣工 - 新ジャンルのエコシップ“neo66BC”-	26
2MWの浮体式洋上風力発電所が本格稼働 - 福島復興・浮体式洋上ウインドファーム実証研究事業の一環として短納期で引き渡し -	27
新型カードリーダー“MiEVAH7700”の販売を開始 - 通信機能を強化し、「企業」と「働く人」のコミュニケーションを支援 -	28

トピックス

三井造船昭島研究所がEEDI関連で国内初のISO9001を取得 - 国際基準に対応した水槽機関として認証 -	30
---	----

Home Page News

神戸港埠頭株式会社及び東京港埠頭株式会社から コンテナクレーン6基を連続受注.....	31
--	----

MITSUI ZOSEN TECHNICAL REVIEW

No. 211 FEBRUARY 2014

CONTENTS

Products and Technology Explanation	1
Technical Paper and Report	
Gas Storage and Retention Characteristics of CO ₂ Hydrate made by Hydrate Formation and Compression Apparatus.....	7
<i>Takayuki HISAMOTO, Osamu TAKANO, Masato ITO</i>	
Development of on-board VPC Power Generation System.....	13
<i>Kanehisa IMAI, Goro SAYAMA, Kazuo SHINGAI, Kouichi NAMBA</i>	
Development of Concrete Curing Mat Using Super Absorbent Acrylic Fiber	19
<i>Ryuichi MINATA, Kenji IMANISHI, Hisao TATEGAMI, Yasuhiro SUZUKI</i>	
Products and Technology News	26, 27, 28
Topics	30
Home Page News	31

水中機器製品の開発

船舶・艦艇事業本部 小山 寿 史

1. はじめに

三井造船における水中機器の歴史は、およそ40年前に始まる。1970年代に世界で有索式遠隔無人機(Remotely Operated Vehicle: ROV)の有用性が認識され、海洋石油生産に関連する重作業機能を有する大型ROVから低価格のLCROV(Low Cost ROV)と呼ばれるテレビカメラによる観察主体の小型ROVまで一気に花開き、当社はこの技術潮流に乗り遅れることなくほぼ同時進行で製品開発を行ってきた。さらに、1990年代に入ると、自律型水中ロボット(Autonomous Underwater Vehicle: AUV)が研究用途から実用へと発展したが、これに対しても産学の連携を取りながら先進的な技術開発への対応を行い、「AUV=三井造船」を目標として地歩を固めてきた。また、最近では水上無人機(Unmanned Surface Vehicle: USV)の開発にも着手し、より広範囲の社会的ニーズに応えるべく活動中である。当社が開発した水中機器とその特長を表1に示す。本報では、水中機器の最新製品の技術とこれらを用いた運用成果について紹介するとともに、今後の製品及び技術開発動向について述べる。

2. 最近の開発動向

三井造船技報創刊200号記念特集号(2010年6月発行)に特機・水中関連機器の開発¹⁾を報告してからわずか3年の間に、無人機に対する世の中の見方を変える大きな出来事がいくつか起きた。ここでいう無人機には陸上無人機、空中無人機、そして水中・水上無人機が含まれる。もっとも印象に残っているのはやはり、2011年3月11日に発生した東日本大震災であろう。筆者は地震発生時、AUVを用いた熱水鉱床調査支援のため、沖縄県伊平屋島沖の海洋調査船“なつしま”の船上にいた。“なつしま”が地震発生直後に三陸沖へ支援に向かうことになり、航海は中断となったが、その後、福島第一原子力発電所において航空無人機が上空から撮影した原発建屋の写真や、遠隔操作式陸上ロボットが撮影した建屋内のビデオカメラ映像をテレビ報道で観た。無人機は人が近付くことができない危険な場所に行き、観測データの収集や大型の物では重作業をすることもできる。東日本大震災においては、当社で開発した水中・水上無人機も投入され、例えば水中小型カメラロボットRTVが被災地支援として津波後

表1 三井造船の水中機器ラインナップ(最大運用深度別)

No.	名称	特長
1	配水管内調査用ロボット	配水管(500mm, 水圧1MPa)内部の継手の状況や腐食の状況などを断水せずに調査することが可能な遠隔操縦式超小型ロボット
2	RTV.N-100	簡単な操作で水中の観測と点検ができ、高潮耐航能力を備えた水深150mまで潜航可能な遠隔操縦式小型テレビロボット
3	淡探	湖沼での探査・計測を目的として開発された自律型ロボット
4	RTV.N-200, RTV.N-Hyper 200	高潮耐航能力を備えた水深200mまで潜航可能な遠隔操縦式テレビロボット、Hyper200はその高出力スラスト版
5	MURS200	点検・計測用の多機能型ロボット
6	六合(くに)	ダムでの点検・計測用に開発された自律型ロボット
7	RTV.N-300, RTV.N-Hyper 300	高潮耐航能力を備えた水深300mまで潜航可能な遠隔操縦式テレビロボット、Hyper300はその高出力スラスト版
8	R-One ロボット	400mまでの水深を24時間連続で自律潜航可能な大型ロボット
9	RTV.N-500	高潮耐航能力を備えた水深500mまで潜航可能な遠隔操縦式テレビロボット
10	Aqua Explorer 2	海底敷設ケーブルの調査、各種観測・点検用に開発された水深500mまで潜航可能な自律型ロボット
11	Aqua Explorer 2000	海底敷設ケーブルの調査、各種観測・点検用に開発された水深2000mまで潜航可能な自律型ロボット
12	ドルフィン-3K	深海の調査・探査用に開発された水深3300mまで潜航可能な遠隔操縦式ロボット
13	r2D4	R-One ロボットから大幅な機能強化及び小型軽量化を果たした水深4000mまで潜航可能な次世代型の自律型ロボット
14	自航式海底サンプリングシステム	船上から水深4000mまでの海底付近に吊り下げられ、ピンポイントによるサンプル採取や機器の設置を行うための遠隔操縦式ロボット
15	べんけい	地球深部探査船等によって掘削された海底の孔を利用して、その中にセンサーを設置し、地球物理学的な計測データを得るために開発された水深6000mまで潜航可能な遠隔操縦式ロボット(ピークル部を担当)
16	かいこう	世界最深の11000mまで潜航可能な遠隔操縦式ロボット

の三陸沖海底調査を行い、また、東京電力株式会社に納入したUSVが福島原発沖の海水を採水し、放射性物質をモニタリングするなど活躍した。

水中・水上無人機を取り巻く環境を変化させたもう一つの原因として、海洋基本計画が5年ぶりに改訂(2013年4月26日閣議決定)され、海洋立国日本を目指す姿勢が改めて示されたことも大きい。日本の領海・排他的経済水域には、海底熱水鉱床やメタンハイドレート、コバルトリッチクラストなどのエネルギー・鉱物資源が豊富に存在していることが確認されており、その資産価値は数百兆円規模になるとの試算もある。これが、我が国が近年、潜在的に資源大国と言われるゆえんであるが、問題はこれらの資源が、人が直接作業できない深海底に存在することである。そのため、採掘にかかるコストの採算が合わず、これまで技術開発が進まなかった経緯がある。しかし、東日本大震災に伴う原子力発電所事故によるエネルギー政策の見直しも相まって、海洋基本計画ではこれらの海底資源の調査・研究を継続しつつ、事業化のための開発・研究を強化していくことが明確に述べられている。当社では、大深度大型ROVや資源探査AUVの開発を20年以上前から行ってきており、高水圧下におけるさまざまな現象やそれに対する材料、水密、通信、投入・回収、ケーブルなどの技術開発を行い、その知見と技術を保持している。また、2012年にはより短時間で広範囲の観測活動を行うために、異種3台のAUVを同時展開した海底調査を世界で初めて実施するなど、新しい試みにも積極的に取り組んでいる。これらの知見を活かし、AUVによる資源賦存量調査、分布域の特定、資源開発における環境アセスメントのための情報収集、そしてROVによる海底作業、観測などの分野でイニシアチブをとって活動を進めていけるものと考えている。

自律型無人機は、機械・電気だけではなく、流体、材料、通信、制御、センサ工学など多くの技術分野の結集が必要である。特に水中無人機は、陸上や空中に比べ高水圧下という厳しい環境に加え、電波や光波を用いた高分解能センサや高速通信の利用が難しく、それら制約条件の下で自律行動可能な無人機を製造することは多くの経験と技術的ノウハウ、総合力が必要となる。海外では近年、大企業のM&Aによる業界再編が進み、各企業グループは無人機本体だけでなく、航行センサや通信、ペイロード、水中ケーブルや電池など各分野で専門技術を保有する水中機器メーカーを取り込むことにより総合力を高めている。

当社では、常に時代の潮流に耳を傾けつつ、また、これまで培ってきた技術を基礎に日進月歩の新たな技術を吸収し、海洋資源開発、省力化や安全保障といった社会的ニーズに応えられる技術開発を目指している。

3. 水中機器製品の開発の現状

3.1 海洋資源探査用有索式無人探査機(ROV)

“かいこう”は、独立行政法人海洋研究開発機構(旧海洋科学技術センター)が1995年に、海洋の11000mの最深部までの深海調査観測及び研究を可能とするため、世界に先駆けて開発・建造した当時最新鋭となる有索式無人探査機で、当

社がプライムコントラクターとしてその設計、製造及び実海域試験を行った²⁾。“かいこう”のシステム構成図を図1に示す。大深度におけるピークルの運動性能を保持するため、ランチャーによる中継方式を採用している。

“かいこう”は、1995年3月24日にマリアナ海溝にて世界最深部となる水深10911mの海底の着底に成功したが、2003年に高知県室戸岬沖において二次ケーブル(ランチャーとピークル間のケーブル)が破断し、ピークルを亡失した³⁾。“かいこう”は11000mまで潜航できる世界唯一の深海調査システムであり、後継機の一日も早い建造と深海調査の再開が期待されていた。

それから約10年が経過し、2011年3月に発生した東日本大震災により、地震観測及び震源調査機器の必要性が再認識されたことに加え、我が国の海底資源開発に対する機運が高まった。そのような状況下、当社は海洋研究開発機構より、“かいこう”の代替として建造された既存の“かいこう7000”の後継となる、より強力な海洋資源探査用無人探査機“かいこうMk-”を受注し、2013年に玉野事業所にて建造した(写真1)。本探査機は海域試験運転後、2015年度より実運用に供される予定である。

表2に主な仕様を示す。新システムではランチャーは既存のものを使用し、ピークルのみ新造である。計画通常装備で深度7000mまで潜航可能であり、搭載機器や浮力材などの部品を交換することで更なる大深度への潜航可能なシステム設計となっている。当社が有する“かいこう”及び水中機器の製造技術に加えて、海洋研究開発機構が新規に開発を行っ

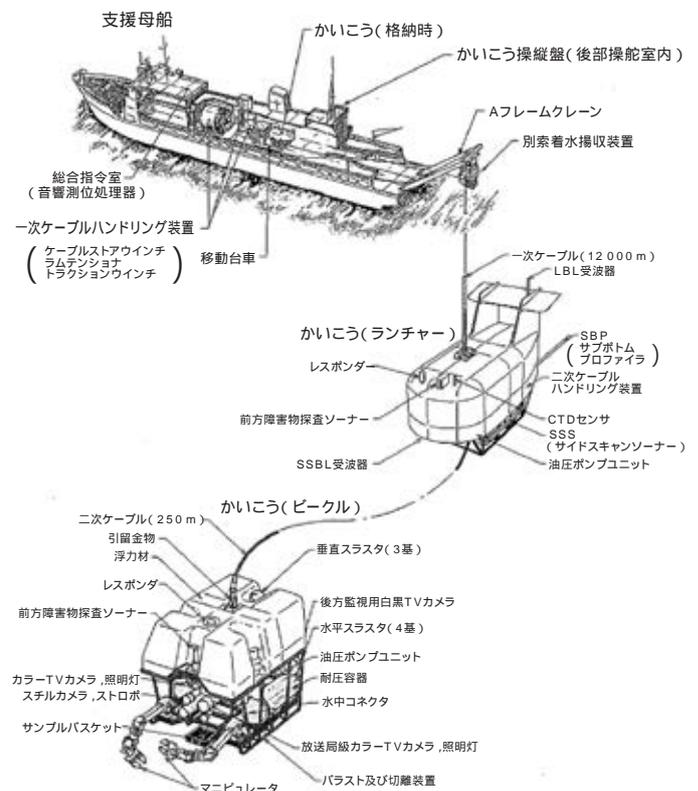


図1 “かいこう”のシステム構成図

た広角魚眼カメラや光通信システムを採用し、またケーブル破断時の対策としてパラスト投下機構やトランスポンダ、フラッシュ、アルゴス送信機などの安全装置を搭載している⁴⁾。ランチャーを中継しない、ピークル単独での運用も可能である。ケーブルハンドリング装置を搭載した“かいれい”、“なつしま”、“かいよう”など複数の海洋調査船からの運用が可能であり、それぞれの母船における成果が期待されている。

また本機は、慣性航法装置(Inertial Navigation System: INS)を搭載したことも大きな改良点と言える。“かいこう”は水中におけるピークル位置計測手法として、母船やランチャーから音波を利用した測位により行っていたが、特に大水深で母船から遠距離の運用になるほど測位精度が劣化する。INSの搭載により、ピークルの相対位置がより正確に計測できるようになるため、オペレータはよりの確な操縦が可能となる。また、これにより本機に定点保持やオートクルーズなどの自動操縦機能を持たせることが可能となった。定点保持は指定した位置、高度、深度、ピークル姿勢(方位や傾斜角)を保持する機能であり、オートクルーズは設定した経路上を自動で航行する機能である。それぞれ、自動船位保持装置(DPS)やAUV開発で当社が培ってきた技術を採用している。また、半自動制御機能として、方位保持や高度/深度保持機能に加え、自身のスラストが巻き上げる海底の泥や粉塵により光学カメラ映像の視界が妨げられることを防ぐために観測モードを追加し、水平スラストの噴流がピークル前方に噴かないよう作動スラストを制限して機体进行操作することが可能である。これらの機能はオペレータの操縦を補助し、運用にかかる労力を軽減することができる。

3.2 小型水中テレビロボット(RTV)

RTVシリーズは、過去300台を超える小型ROVの製造実績と700件を超える運用経験を踏まえ、より使いやすく、海洋の幅広い海象条件で使用できるROVを目指し、当社が開発を行っている高機能小型水中テレビロボットである。水深50mから800mの各運用深度に対応した機種をそろえている。約30年前にRTVを世に出した当初は、水中で静止

時に水平姿勢を保持するRTV ノーマルタイプであった。その後、トリムを自在にコントロールできるように、上下合わせて3機の水平スラスト(推進器)を配置したRTV-MKタイプを開発した。現在はMK の流れを汲むRTV.Nシリーズを中心に製造・販売を展開している(写真2)。

RTV.Nシリーズは高出力スラストを装備し、潮流の早い海域でもスムーズに動作可能で、当社独自の方式であるトリムコントロール機構により、優れた運動性能を持ち、水中でアクロバティックな航行も可能である⁵⁾。標準で高画質テレビカメラ及び高性能カラーソナーを装備し、水中を自由に航行しながらリアルタイムで観察を行う。機体の操作はコントローラとなるジョイスティックと、機体情報・観測情報を表示する一枚のタッチパネルモニターで各種機能を切り替えて実施する(図2)。例えば、ソナー画面上の目標物をタッチし、目標物の方位を維持する機能(ソナートラッキング機能)を使えば、操縦者はコントローラを前方に倒しているだけで目標物まで到達できる。その他にも、ピークル姿勢を自動で水平に保持する機能やコントローラで操作した姿勢を保持する機能、方位・深度保持機能など、操縦者が運用しやすいように様々な操縦支援機能を有している。

さらに、RTV.Nシリーズは豊富なオプションにより、使

表2 海洋資源探査用無人探査機の主要目(“かいこう Mk- ”)

項目	主要目
システム	有索式遠隔操作無人探査機
運用形態	ランチャー/ピークル方式 及びピークル単独方式
形式	オープンフレーム構造
寸法	3.0(L)×2.0(B)×2.6(D)m
重量	空中:約6t, 水中:約10kgf
最大潜航深度	7000m
速力	前進2kt, 上昇下降1kt
構造	
浮力材	シntaxチックフォーム
フレーム	純チタン
油圧動力装置	電動油圧パワーユニット1基
推進装置	油圧モータ駆動プロペラ 水平4基, 垂直3基
航海装置	前方障害物探査ソナー, 深度計, ドップラ速度計, 慣性航法装置, 高度ソナー
音響測位装置	レスポンダ, トランスポンダ
調査観測機器	CTD, DO, ROV ホーマー
カメラ	広角魚眼 TV カメラ, HDTV カメラ, 後方監視カメラ, デジタルスチルカメラ, 嵌合監視カメラ
投光器	散光型ハロゲン, メタルハライド, LED 投光器
作業装置	左右マニピュレータ:7自由度
安全装置	パラスト切離し装置, フラッシュ, アルゴス送信機
通信方式	光伝送装置(16ch CWDM 方式)

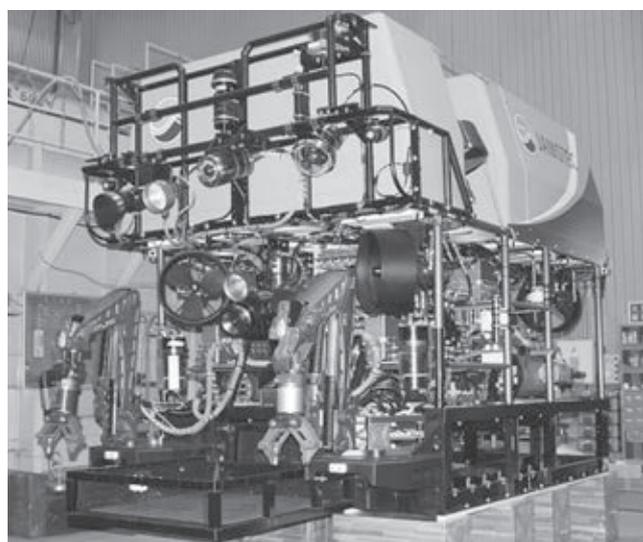


写真1 建造中の海洋資源探査用無人探査機(“かいこう Mk- ”)

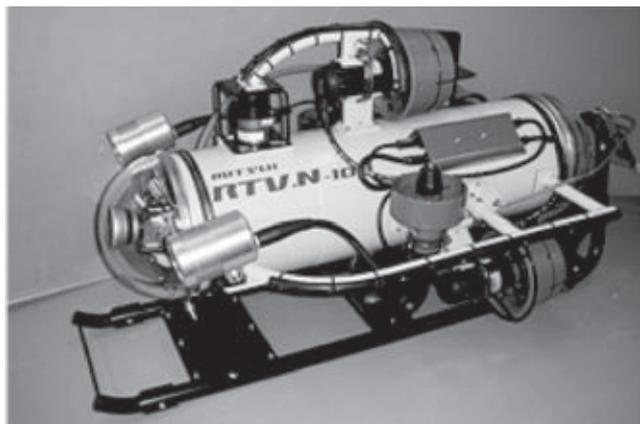


写真2 小型水中テレビロボット「RTV.N-100EXY」

用場所、目的に応じた機能を取り付け可能となっている。例えば、ロボットと船上装置の通信に光ファイバーを採用しているため、長距離かつ大容量のデータ伝送が可能で、水中位置検出装置などの超音波センサ類の搭載はもちろんのこと、ハイビジョンカメラや環境データ計測用の各種センサなど、大容量データ伝送が必要な機器も追加で搭載することができる。さらに、軽作業用に小型コンピュータやロープカッター、長距離探査用に長尺ケーブルも装備可能である。また、高出力のスラスタを搭載し、対潮流性能を向上させた Hyper シリーズも取りそろえている。

RTV は、送電と観測・通信データ伝送用として用いられるテザーケーブルにより行動範囲は制限されるものの、有人では困難な危険区域やダイバー作業が困難な水深数十 m 以深の海域で特に活躍できる。これまで、漁礁における魚の生息調査から、警察、消防、海上保安庁による川や海での事故や災害発生時の人・物の捜索や救助、確認作業まで実に幅広く使用されている。最近では東日本大震災発生後、東京大学所有の「RTV-100 MK」と当社所有の「RTV-100」の2台を用いた岩手県三陸沖の海底調査を実施した。遺失物捜索で活躍するとともに、津波後の海底状況のカメラ観測により、海底が予想以上にきれいであり、すぐに漁業の再開が可能であることを明らかにし、津波による被害を心配していた近隣の漁協関係者に大きな安心感を与えた⁶⁾。

3.3 自律型海底資源探査機(AUV)

当社では、1990年から東京大学生産技術研究所と共同で海嶺探査用自律型水中ロボット「R-One ロボット」の開発に着手し、その成功を受けて2001年度にはAUV「r2D4」による熱水鉱床探査計画(r2プロジェクト)を開始した。「r2D4」はその前身である「R-One ロボット」と比較して大幅な小型軽量化と高性能化を図っており、最大潜航深度4000mであるため、熱水鉱床や中央海嶺の観測調査にも対応可能な性能を保有すると同時に、小型化によって機動性、運用のしやすさなども大幅に改善した。「r2D4」はこれまで60回を超える潜航と調査を経て科学的、技術的側面から多くの成果を挙げ、2008年には独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構による熱水鉱床の鉱物資源賦存量調査に用いられ、取得した詳細な海底音響画像により、チムニーや熱水マウン



図2 小型水中テレビロボットRTV.Nシリーズの操作画面

ドの存在とその位置を特定し、この結果がボーリング地点の選定に活用された⁷⁾。これらの開発と運用を通して得られた知見は、今後のAUVを用いた海底資源探査において大いに活用できるものと考えられる。

一方、これと同時期の2000年に、当社では海底ケーブルの敷設ルートと海底ケーブル敷設後の状況調査を行うAUV「Aqua Explorer 2000」(AE2000)の建造も行っている。「AE2000」は国際ケーブル・シップ株式会社(旧国際海洋エンジニアリング株式会社:KCS)が商業用として開発し、当社が水中ロボット本体の設計と製造を行ったものである。現在は海底ケーブル調査の役目を終え、2011年にKCSから東京大学に引き渡され、海底資源調査(主に熱水鉱床)を目的として運用されている。この移管に伴い、観測センサや航行センサを海底観測用へと交換し、自律プログラムについても、「R-One ロボット」や「r2D4」の運用経験で得られた知見をもとに、航行機能と緊急時対応機能で大幅な改良を行った。新規に搭載した観測センサとしては海底地形計測用の音響ソナーや地磁気異常を計測する海中3成分磁力計があり、またCTD計や濁度計などの化学系センサを搭載した。航行センサとしてはマルチビーム方式の障害物回避ソナーを新たに採用し、また高高度でも対地速度を計測できるように、ドップラー速度計を周波数1200kHzのものから300kHzのものに変更した。センサ類の変更のほか、揚収方式についても機体背中部の水平2点釣りによる方式だけではなく、艇首部アイを用いた垂直一本釣り方式にも対応できるよう揚収アイの強化を行った。

「AE2000」は海底調査だけではなく、海面に浮かぶ氷底面調査にも用いられている。このために通常下向きに搭載している地形計測ソナーを上向きに装備し、新規にデジタルスチルカメラも設置した。海水調査においては一般的な海底調査海域のように海面が開けておらず、緊急時に浮上できないため、投下式パラストに加え、給水式パラストを搭載し、潜航継続が不可能とロボットが判断した場合には自動で沈降し、海底で救援待機するようにプログラムの改良を実施した。2012年に北海道紋別流水下で海域試験を行い、往復1kmの

観測で、詳細な流水面形状の音響計測とカメラ画像の撮影に成功している。

“R-One ロボット”、“r2D4”、“AE2000”などの AUV の開発と運用を経て、1 台の AUV を用いた調査潜航の信頼性は技術的にほぼ確立できたと言える。今後の課題の一つとして、現状の限られた調査船のシフトタイムを最大限活用し、より短時間で広範囲の観測を実現していくことが必要であり、そのためには、複数台の AUV を同時に展開する運用技術が求められる。当社は東京大学と共同で 2012 年に、八丈島南方のスミスカルデラにおいて、ホバリング型 AUV “TUNA-SAND” (主に海底の写真撮影を実施) と航行型 AUV “AE2000a” (音響ソナーによる海底地形観測を実施)、“AE2000f” (化学センサによる熱水兆候観測を実施) を用いた世界初となる 2 種類計 3 台の AUV 同時展開を実施し、成功させた。またこの調査において、かつて熱水活動があったと考えられる海底地形を発見している⁸⁾。

新たに見えてきた課題もある。現状の運用方法では、同時展開する AUV の台数が限られるという点である。AUV の無人・自律という利点を活かせば、本来なら数十台、数百台の同時観測が可能であるが、現在の運用は AUV が航行中、支援母船から常時監視(高価な機器であるため不測の事態に対応)する必要があり、また航続時間が 8 時間程度で、その間に数十台の AUV の着揚収作業と航行監視を 1 隻の母船で実施するには、マンパワー的にも AUV の管理機能の面からも負荷が大きい。将来数百台の AUV 群による海底調査を行うためには、複数台の AUV による協調制御技術の開発に加えて、長時間航行可能な動力源の開発、1 台の AUV の完全な堅牢性の確立、着揚収作業の完全無人化等の技術開発が必要になると考える。当社はこの最終目標を目指した開発を進めていく。

3.4 海洋モニタリング用無人調査船(USV)

USV とは、乗務員なしで航行することができる船舶である。陸上操作局から無線通信により USV の操作を行い、また USV から送られてくる情報をモニタリングすることができる。他の無人機同様、実装する自律航行機能、自動観測機



写真3 海洋モニタリング用無人調査船“DELPHIS”⁹⁾

能によって人間の作業量の低減と効率化、そして特に危険作業においてオペレータの安全確保を実現できることから、今後ますます注目されていく分野と考えられる。海外においても様々な USV が開発されており、当社でも 2008 年頃から USV の開発を開始した。

初めての研究試作機である USV “DELPHIS” は当初、船陸間の通信機能と簡単なプレプログラミング航行機能を有するのみであった。その後、東北地方太平洋沖地震を発端とする福島第一原子力発電所の事故により、沖合に流出した放射性物質をモニタリングすることを目的に、短期間で運用機能の拡張と観測機器追加の改造を行い、運用訓練を経て 2011 年 11 月 22 日に第 1 回目の原発沖無人調査を実施した(写真 3)。以下に 無人調査のための改造内容を中心に “DELPHIS” の主要な構成と機能について紹介する。

“DELPHIS” は船長 6 m、重量 1.8 t で最大速力 7 kt の性能を持つ。艇体は、ガラス繊維強化プラスチックの船底と舷側をポリエチレンフォーム材による浮力体で囲った構造を持つ複合艇であり、一般に RHIB (Rigid-Hulled Inflatable Boat) と呼ばれている。RHIB は浮力体による復原性と滑走艇型船底による高速性から、USV 開発の主流となっている艇体である。“DELPHIS” は航海装置として GPS コンパスを搭載し、操舵装置と主機制御装置を使用することで、自動操船を可能にしている。さらに、海洋モニタリングのための改造として、無線 LAN 通信、FOMA 携帯電話通信、VSAT 衛星通信、WIDESTAR 衛星通信と 4 系統の通信機器を装備し、自動切り替え機能により、状況に合わせた通信回線が使用できる。

また、自律航行機能として、設定した航路を指定した速度でトレースする機能を持ち、航路は予め電子海図上で検討・計画し、観測方法に合わせて様々な航路パターンを用意しておくことができる。その他に遠隔操縦機能により、陸上操作局のリモコン操作により航行させることも可能である。航行中の位置情報、カメラ映像、観測状況などは陸上操作局からリアルタイムにモニタリングすることができ、現在位置は電子海図上に表示され、視覚的に調査船の動向を知ることができる。

この改造に当たって、最も強化したのが安全機能である。無人航行中にトラブルが発生した場合の対策として、“DELPHIS” には複数の安全機能を搭載した。例えば、自動帰還機能により、自律航行中になんらかの原因で陸上操作局と通信断となった場合、調査船は調査を続行するか、帰還するかを自律的に判断し実行することができる。また、制御機器や観測機器に不具合が発生した場合、船上電源リセット機能により陸上操作局から遠隔で電源リセットを行うことが可能である。その他にも制御機器内にある CPU の動作を監視し、フリーズ等の不具合があった場合にプロセッサを再起動することができる制御機器監視機能や、船上電源ダウン・エンジン停止の事態となった場合でも、船上装置とは独立した系統で構成したオーブコム衛星通信機(バッテリー駆動)により調査船の測位が可能であるなど、安全管理と緊急時対応面で機能を充実させた。

観測機器としては、福島原発沖での海洋モニタリングのため、採水器、ガンマ線線量計、超音波流速計(Acoustic

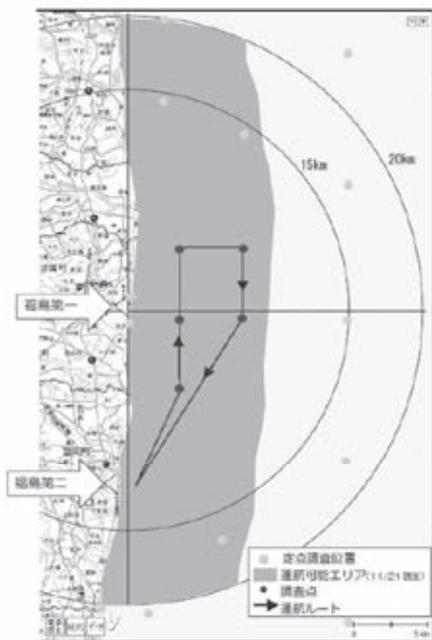


図3 福島第一原発沖における無人調査船の運行ルートと海水採水位置⁹⁾

Doppler Current Profiler : ADCP)を装備した。採水器は1リットル×10本のボトルを装備し、自律航行中に指定したポイントで表層の海水を自動採取することが可能で、操縦中においても操縦者の任意のタイミングで海水採取を行うことができる。10本のボトルそれぞれが採水チューブを持ち、採水経路を独立させることにより別の場所で採取した海水と混じることがないように設計した。また、船底には東京大学が開発したガンマ線線量計を装備し、自律航行中及び遠隔操縦中において、リアルタイムで海水中のガンマ線線量をモニタリングすることが可能である。同様に、船底に搭載したADCPにより、海中の流向と流速を多層にわたって計測することもできる。

福島原発沖の海洋モニタリングに向けた追加機能と搭載機器の検討後、2011年6月から改造を開始し、続けて陸上調整と海上試験を経て、8月に広野火力発電所にて運用訓練を行った。運用訓練終了後、本調査船は福島第二原子力発電所を基地として運用されることとなった。さらに、福島第二原発港湾内での訓練の後、2011年11月22日に第1回目の運用が実施された。図3(東京電力株式会社発表)は、無人調査船の運航ルートと海水採取位置を示したものである⁹⁾。図中の各ポイントにおいて採水を実施し、また、ガンマ線線量計測、流向・流速計測は航行中継続して行った。午前9時30分に福島第二原発を出港し、午後13時10分に帰還した。所要時間3時間40分、総航行距離40kmの無人航海であった。

4. 今後の展開

当社は、ここに記載した以外にも、海洋調査機器の一つである自航式深海底サンプル採取システムや、社会インフラである管路設備の点検調査を行う水道管路ロボットなどの開発にも力を入れている。さらに、3.4に示したように、2008年には水中機器だけでなく、USVの研究開発に着手した。水

上無人機は単独での運用に加えて、水中無人機や各種調査機器の搬送と投入、また、水中無人機を運用する際の中継器として利用できるなど活用範囲は広く、当社がこれまで開発してきた水中機器製品と複合して利用することで、その適用範囲を大幅に広げることができる。今後、USVからROV等の水中機器の投入と運用も視野に入れて技術開発を進めていく予定である。

5. おわりに

2010年に、三井造船技報創刊200号記念特集号で特機・水中関連機器の開発を報告してから、無人機を取り巻く環境に大きな変化があった。国内でも無人機が活躍できる土壌と時代の認識が育まれつつある。本報では、主に2010年以降に実施した製品開発とそれらを用いた活動について紹介した。

当社は、水中機器に対して豊富な技術開発実績を持ちつつ絶えず新たな技術開発を行っており、それらの技術は端的に言えば水中及び深海という高水圧に対応する技術、そしてROV、AUV、USVなどにおける無人を目指した技術と言える。海底資源探査、水道管路ロボット、海洋環境保全など、今後増え続ける社会的ニーズに応えるべく、これからも技術開発、製品開発を行っていく方針である。

参考文献

- 1) 松嶋：特機・水中関連機器の開発，三井造船技報，200(2010-6)，p. 8
- 2) 大田：外：10 000 m 級有索自航式無人探査機「かいこう」，三井造船技報，158(1996-6)，p. 1
- 3) 「かいこう」ピークル漂流事故調査委員会：「かいこう」ピークル漂流事故調査 最終報告書，(2004-1)
- 4) 海洋研究開発機構 海洋工学センター：大深度高機能無人探査機(ROV)，
<http://www.jamstec.go.jp/maritec/j/development/rov/>，(2013-10-1)
- 5) 松嶋：外：水中無人機の姿勢制御技術，防衛技術ジャーナル，25，12(2005)，p. 4
- 6) 東京大学海洋アライアンス編：地震に克つニッポン，(2012)，p. 52，小学館
- 7) 柴崎：海底熱水鉱床の賦存状況及び鉱物特性について，JOGMEC 平成21年度(第5回)金属資源関連成果発表会，(2009-9)
- 8) 金：外：AUVによる海底熱水地帯調査の新戦略，ブルーアース2013要旨集，(2013-3)，p. 220
- 9) 東京電力株式会社：福島第一原子力発電所 無人調査船運航開始について，
<http://photo.tepco.co.jp/date/2011/201111-j/111121-01j.html>，(2011-11-21)

[問い合わせ先]

船舶・艦艇事業本部 艦船・特機総括部 特機・水中機器部
TEL 0863 - 23 - 2246 小山 寿史

ハイドレート生成圧搾装置で製造した CO₂ ハイドレートの基礎特性

久本 隆之* 高野 宰* 伊藤 真人**

Gas Storage and Retention Characteristics of CO₂ Hydrate made by Hydrate Formation and Compression Apparatus

Takayuki HISAMOTO, Osamu TAKANO, Masato ITO

Akishima Laboratories (Mitsui Zosen) Inc. has been carrying out a research on artificial formation of CO₂ hydrate and quality improvement of the formed hydrate, considering possibilities of CO₂ storage in hydrate form in future.

In this technical report, a newly-built compact apparatus for artificial forming of hydrate is described. Also discussed are gas storage quantity and gas retention performance of the hydrate produced with the apparatus.

Apparatus key parts, such as a piston-typed compressing and molding device and a forming reactor are set in a constant temperature cell, making it easy to produce hydrate under an exact fixed condition. Under higher compressive pressures, appearance of CO₂ hydrate becomes more translucent and a quantity of contained CO₂ gas increases. Finally, 0.01% per day of minimum dissociation rate has been achieved for CO₂ hydrate. Further, by the measurement of forming specimens with a pseudo natural gas, the characteristics difference between the gases had been confirmed.

三井造船昭島研究所では、二酸化炭素(以下、CO₂)の貯蔵可能性の検討のため、CO₂によるハイドレートの人工的な製造及び品質向上の研究を行ってきた。

本報では、ハイドレートスラリーの生成から、スラリーのろ過・圧搾成型、冷却までを一貫して行う小型装置の開発と本装置を用いて製造したハイドレートのガス包蔵量及びガス保持性能の研究結果について報告する。

本装置は、反応容器やピストン式圧搾成型部など主要プロセス全体を恒温槽内に設置し、ハイドレートの生成と圧搾成型条件のコントロールが容易な仕様となっている。本装置により製造したCO₂ハイドレートの試験体は、圧搾成型圧力の上昇に応じて外観が透明になるとともにガス包蔵量が上昇し、最小分解速度は0.01%/dayとなった。また、疑似天然ガスを用いた場合についても同様に試験体を製造し、ガス種により特性に違いがあることを確認した。



写真1 ハイドレート生成圧搾装置
Hydrate Formation and Compression Apparatus

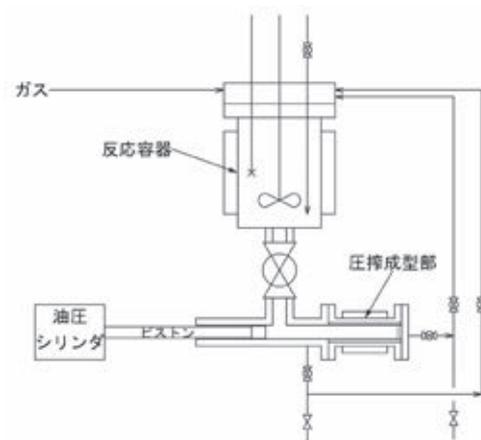


図1 ハイドレート生成圧搾装置の構成(反応容器及び圧搾成型部)
Forming Reactor and Compressor with Molding Device

* 株式会社三井造船昭島研究所 事業統括部

** 技術開発本部 千葉技術開発センター

1. はじめに

三井造船船島研究所では、二酸化炭素(以下、CO₂)の貯蔵可能性の検討のため、2003年からCO₂ハイドレートの人工的な製造及び品質向上の研究を行ってきた。

ハイドレートは生成する温度や圧力の条件により、生成速度やハイドレートの結晶の成長形が変わると言われている¹⁾。このため、人工ハイドレートの各種物性を確認するためには、製造毎の個体差が少ない高品質なハイドレートを安定的に製造することが必要不可欠となる。そこで、高品質ハイドレートの安定的な製造を目的とし、ハイドレートスラリー(以下、スラリー)の生成から、スラリーのろ過・圧搾成型(以下、圧搾成型)、冷却・脱圧までを一貫して管理された環境下で行う装置を開発することとした。

本報では、開発したスラリーの生成と圧搾成型を行う小型装置を用いて製造したハイドレートについて、圧搾成型圧力をパラメータとしたガス包蔵量及びガス保持性能に関する検討結果を報告する。また、疑似天然ガスを用いて製造したハイドレートについても同様の検討を行った。

2. ハイドレート生成圧搾装置の仕様

圧力容器を用いたスラリーの生成方法として、一般に半回分式、半回分式及び連続式があり、本装置を開発する以前は半回分式を用いて研究を行ってきた。半回分式とは、ハイドレートの原料である水とガスのうち、水は定量のままガスだけを連続的に供給し、内部圧力及び温度を管理しながら攪拌を行ってスラリーを生成する方式である。これまでの半回分式のスラリー生成装置では、反応容器内圧力を3 MPa、温度を5 程度の条件にて生成を行っていたが、ハイドレートを圧搾成型する機構を有していなかった。

今回開発した新たな半回分式生成圧搾装置は、以前の半回分式の条件に対して幅広く条件設定が行えるように、容器内最大圧力を7 MPa、容器内設定温度を-20 ~ +10 とした。反応容器の大きさは、以前の半回分式生成装置と同等の寸法・容積(約1)とした。圧搾成型部の配置は、CO₂ハイドレートが水より比重が大きいことを考慮し、反応容器の下部に設置した。また、スラリーの詰まりを避けるために、反応容

器との接続部の配管は内径29 mmと比較的大きな径を用い、最短距離となるような配置とした。

なお、圧搾成型部は装置より取り外し可能となっており、ハイドレート冷却後に圧搾成型部ごと各種の測定を行う低温室へ持ち運べる構造となっている。スラリーを圧搾成型する方式はピストン方式を採用し、圧搾成型部の内部には内径33 mmの樹脂製のスリーブを入れ、圧搾成型ハイドレートの滑りを良くするとともに、冷却後の固着を防止している。圧搾成型部の端部には、焼結金属と反応容器への配管を配置し、圧搾成型時の排水が焼結金属を通して反応容器へ戻る構造としている。さらに、ピストンとスリーブの間には隙間を設け、その隙間からも圧搾成型時の排水が行えるよう考慮している。ピストンの駆動には、圧力のコントロールが容易に行える油圧シリンダを採用した。反応容器や圧搾成型部など主要プロセス全体を恒温槽内に設置し、外気温の影響を受けにくいよう考慮している。

写真1にハイドレート生成圧搾装置を示し、表1に装置の仕様を示す。また、図1に反応器及び圧搾成型部の機器構成を示し、写真2にその外観写真を示す。

3. ハイドレートの生成と圧搾成型方法

まず、温度管理された反応容器に水を注入し、原料ガスで容器内を昇圧してハイドレートの生成を開始する。

反応容器にて生成されたスラリーは、圧搾成型ピストンを前進させることにより圧搾成型される。しかしながら、一度の圧搾成型では所定サンプル長さの製造が行えないため、一定の時間間隔で圧搾成型ピストンを前後動させて圧搾成型部へのスラリー導入と圧搾成型を繰り返し、ハイドレートを積層させる。

次に、恒温槽内全体を所定温度まで冷却し、脱圧工程を経て円柱状のハイドレートを取り出す。取り出した円柱状のハイドレートは、必要に応じて切断や切削整形を行い、測定用のサンプルとする。

表1 ハイドレート生成圧搾装置の基本仕様
Specification of Hydrate Formation and Compressing Apparatus

恒温槽寸法	幅 2 500 mm × 奥行 800 mm × 高さ 1 680 mm
温度調整方式	生成容器・圧搾部：チラー液循環 恒温槽：冷風循環
設定温度	- 20 ~ +10
反応容器材質	SUS304
反応容器内寸法	内径 90 mm × 深さ 150 mm
反応容器圧力	0 ~ 7 MPa
攪拌軸回転数	300 ~ 600 rpm
圧搾成型圧力	最大 50 MPa

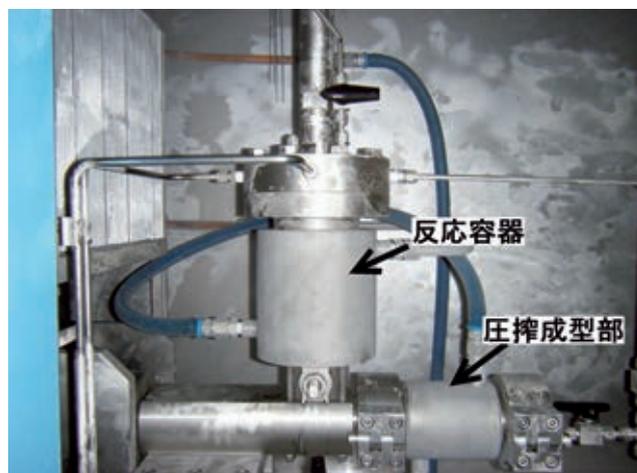


写真2 反応容器及び圧搾成型部
Forming Reactor and Compressor with Molding Device

4. ガス包蔵量と保持性能の評価方法

製造したサンプルは、サンプルのガス包蔵量及びガス保持性能の確認によって評価した。

ガス包蔵量は、式(1)で示されるサンプル中のハイドレートの質量割合 Y (以下、ハイドレート率) で評価した。

$$Y = \frac{W_{hyd}}{W_S} = \frac{(W_S - W_W) \times (W_S - W_W) / M_{GAS} \times M_W}{W_S} \dots (1)$$

ここで、

W_{hyd} : ハイドレート質量

W_S : サンプル質量

W_W : 水質量

: 水和数 (CO₂では6.2 ,NGHでは6.19)

M_{GAS} : ガス分子量

(CO₂では44 ,NGHはガス組成分析結果による)

M_W : 水分子量 (18)

水質量 W_W は、サンプルを常温で分解した後の水の質量である。式(1)に含まれる水和数は、ガス分子1個を包蔵するために用いられる水分子の個数を示しており、CO₂ ハイドレートの水和数は Udachin らが求めた 6.2 を用いた²⁾。6. の疑似天然ガスを用いた混合ガスハイドレート (以下、NGH) の水和数はシミュレーションソフト“CSMHYD”³⁾の結果から算出した 6.19 を用いた。

ガス保持性能は、貯蔵中にハイドレートが分解せずに残る割合を表わし、以下のように求めた。

まず、サンプルを保存容器に納め、約 2 週間にわたり温度変化のない場所で保管する。次に、保管前後のサンプル質量と分解後の水質量からハイドレート率を求め、更にその差からハイドレートの 1 日当たりの平均分解量 (以下、分解速度)

を求め、ガス保持性能として評価した。なお、選択する水和数によりハイドレート率は変わるため、ガス種による絶対値の相対比較には留意が必要である。

5. CO₂ ハイドレートの試験結果

2. で述べた生成圧搾装置を用いて、CO₂ ハイドレートの生成を行った。反応容器内圧力は 3 MPa 温度は 5 °C に設定した。

写真 3 に圧搾前のスラリーの顕微鏡写真を示す。この顕微鏡写真からハイドレート粒子の大きさを計測した結果、粒子径は 20 ~ 70 μm で、平均粒径は約 45 μm であった。以前の半回分式生成装置を用いて同様の条件で生成したスラリーに含まれる粒子は平均粒径が 50 μm 程度であり、新たに開発した生成圧搾装置でも同様な結果となることを確認した。

5.1 圧搾成型圧力とハイドレート率の関係

図 2 に反応容器内圧力及び温度を同一条件とし、圧搾成型圧力を変えて製造した CO₂ ハイドレートの圧搾成型圧力とハイドレート率の関係を示す。圧搾成型圧力が比較的低い領域では同じ圧搾成型圧力でばらつきが見られるが、圧搾成型圧力の上昇に伴いばらつきも小さくなり、ハイドレート率は最大 96% まで上昇した。

写真 4 に、-20 °C まで冷却した後に取り出した直後の円柱状ハイドレートを示す。外観は圧搾成型圧力の上昇に伴って徐々に透明度を増しており、圧搾成型圧力 15 MPa 以上では特にその傾向が顕著であった。

圧搾成型工程では、ハイドレート粒子間に存在する水分を圧力により外部へ追い出す。圧搾成型部内に閉じ込められたスラリーの間隙水圧は、ピストンの移動によって上昇し、間隙水が排水される。ピストンには間隙水圧の他に、ハイドレート粒子で構成された構造体の変形反力が作用する。圧搾成型圧力が低い場合、圧搾工程の初期に構造体内部に存在する比較的大きな間隙は、低い圧搾成型圧力では崩壊せず、内部に多くの間隙水を残してハイドレート率が低くなったことが推測される。

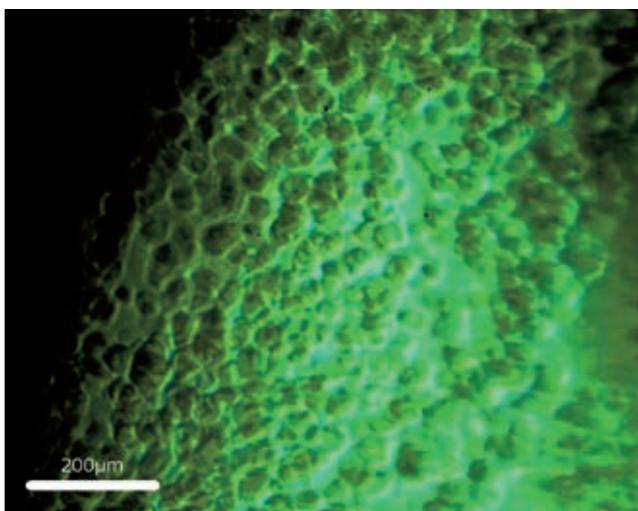


写真 3 CO₂ ハイドレートスラリーの拡大写真
Micrograph of the CO₂ Hydrate Slurry

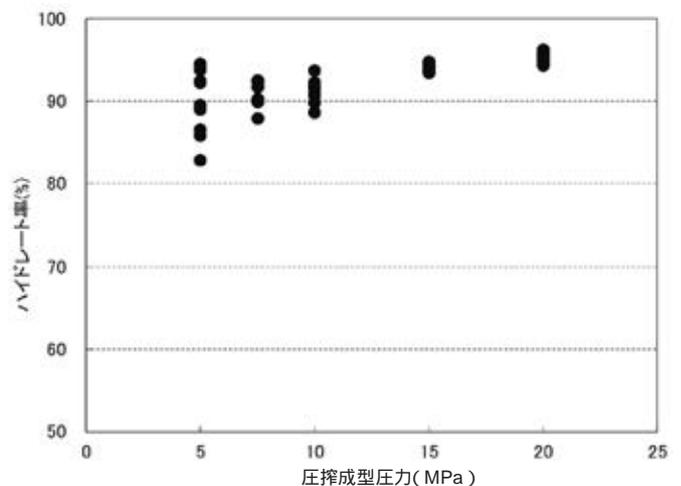


図 2 圧搾成型圧力と初期ハイドレート率の関係 (CO₂)
Relationship of Initial Hydrate Ratio and Compression Pressure (CO₂)

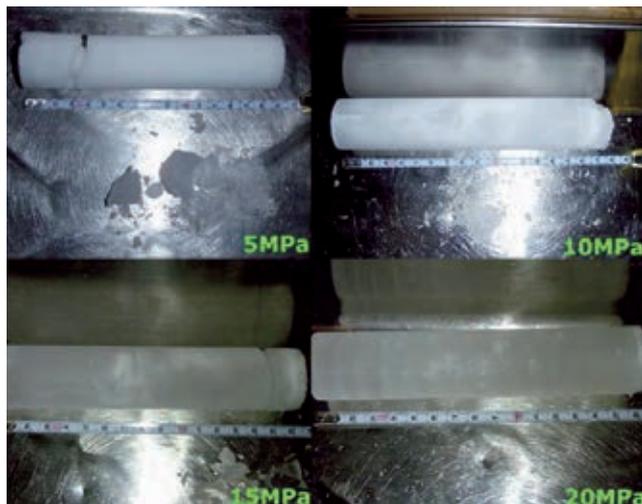


写真4 円柱状ハイドレート(CO₂)
Facade of Industrially Manufactured Cylindrical Hydrate(CO₂)

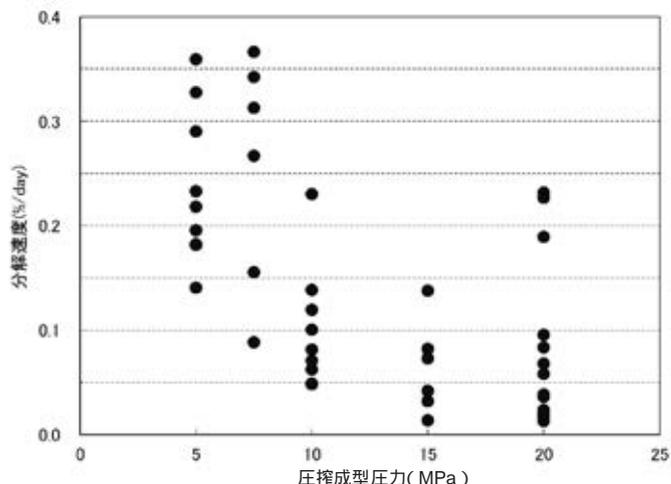


図4 圧搾成型圧力による分解速度の変化(CO₂)
Changes of the Dissociation Rate due to Compression Pressure(CO₂)

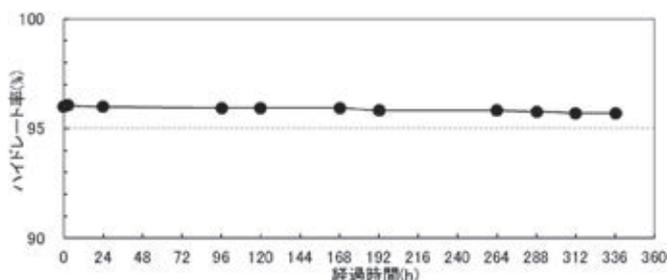


図3 ハイドレート率変化の一例(圧搾成型圧力 20 MPa)
An example of a Change with Time of the Hydrate Ratio
(Compression Pressure 20 MPa)

また、大きな間隙構造の形成状況はサンプルごとに異なると推測され、これが低い圧搾成型圧力状態におけるハイドレート率のばらつきの一因と考えられる。

一方、圧搾成型圧力の更なる上昇に伴って、初期の大きな間隙構造は崩壊して小さくなり、間隙水の占める割合がサンプルごとに均一化したものと推測される。このとき、間隙水には多量のCO₂ガスが溶解しており、冷却により一部がハイドレート化したと考えられる。このようにして内部にほとんど間隙水を含まない均質なサンプルができたため、透明度が飛躍的に上昇したものと考えられる。

5.2 圧搾成型圧力と分解速度の関係

図3に、圧搾成型圧力20MPaで圧搾成型したサンプルのハイドレート率変化の一例を示す。本サンプルは装置取出し直後から2週間後まで、温度-20にて保管したものである。ハイドレート率は取出し直後で96.0%、2週間後で95.7%であり、保管期間中ハイドレート率はほとんど変化しないことが確認された。

図4に、圧搾成型圧力とハイドレートの分解速度の関係を示す。今回の装置で製作したハイドレートは、圧搾成型圧力が低い条件では分解速度が速い。しかし、圧搾成型圧力が

大きくなるにつれて分解速度が遅くなる傾向が見られる。最終的には圧搾成型圧力20MPaのときに最小で0.01%/dayとなり、本圧搾成型装置で安定性の優れたCO₂ハイドレートが製造可能であることを確認した。

以上のように、図2～図4の結果から、20MPa程度で圧搾成型することにより、CO₂含有率の高いハイドレートを長期間安定して貯蔵できることが分かった。

6. NGHの試験結果

2. で述べた生成圧搾装置を疑似天然ガスへ適用した結果を示す。

ハイドレートの製造は、天然ガスを想定した3種混合ガス(組成はCH₄:90%、C₂H₆及びC₃H₈を合計10%)を使用し、反応容器内圧力5.4MPa、温度8を生成条件とした。

本報では、ハイドレート率及び分解速度の試験結果のみを報告するが、本装置で製造したサンプルは顕微ラマン分光による局所構造分析^{4,5)}、粉末X線回折や位相コントラストX線イメージング(PCXI)による構造解析⁶⁾などの評価も行っているため、詳細は参考文献を参照されたい。

写真5に、圧搾前のNGHスラリーの顕微鏡写真を示す。測定の結果、ハイドレート粒子の粒子径は5～33μmで、平均粒径は約12μmであった。

CO₂ハイドレートとNGHの粒子径の違いについては、ガス種による生成条件の違い以外にも、要因の一つとして原料ガスの違いによる水へのガス溶解量の違いが考えられる。混合ガスの主成分であるCH₄はCO₂と比べ、水への溶解量が少ない。このため、粒子周辺にガス分子が十分に存在せず、同様の時間では粒子が成長できなかったためと考えられる。

6.1 圧搾成型圧力とハイドレート率の関係

図5に、反応容器内圧力及び温度を同一条件とし、圧搾成型圧力を変えて製造したNGHの圧搾成型圧力とハイドレート率の関係を示す。この図よりサンプル数は少ないものの、

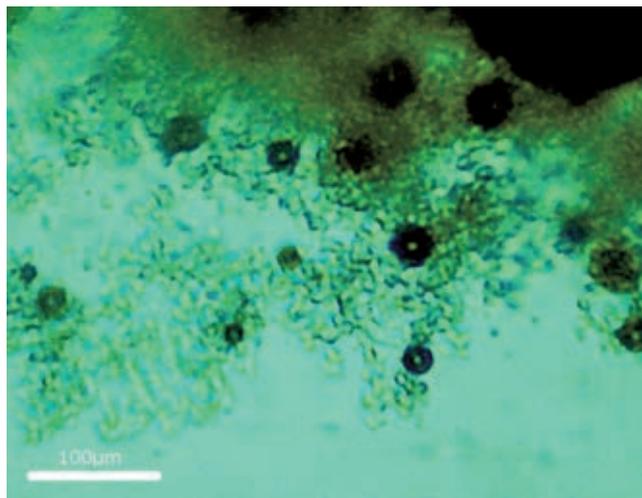


写真5 NGH スラリーの拡大写真
Micrograph of the NGH Slurry

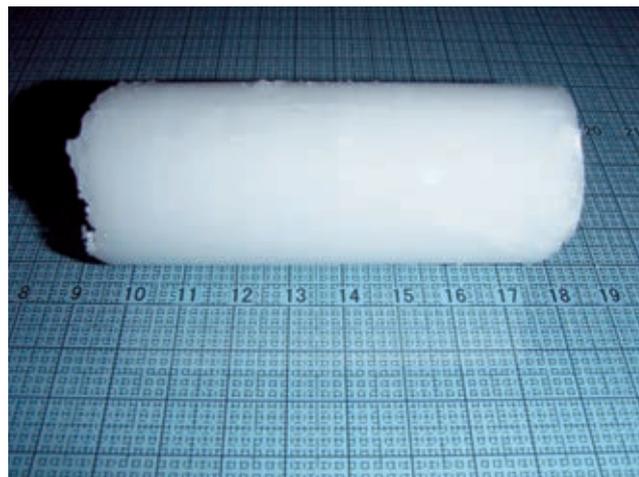


写真6 円柱状ハイドレート(NGH, 圧搾成型圧力 20 MPa)
Facade of Industrially Manufactured Cylindrical Hydrate(NGH, Compression Pressure 20 MPa)

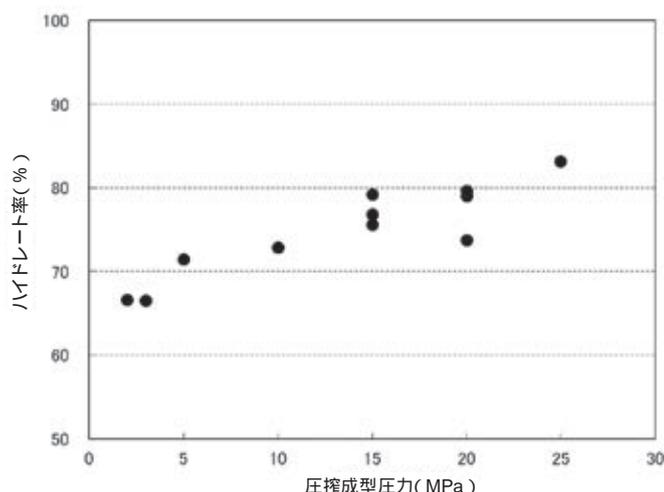


図5 圧搾成型圧力と初期ハイドレート率の関係(NGH)
Relationship of Initial Hydrate Ratio and Compression Pressure(NGH)

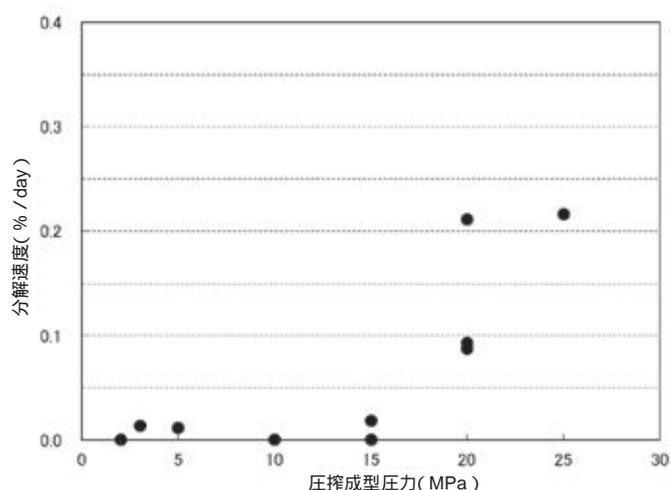


図6 圧搾成型圧力による分解速度の変化(NGH)
Changes of the Dissociation Rate due to Compression Pressure(NGH)

CO₂ ハイドレートと比べてハイドレート率のばらつきが少なく、圧搾成型圧力 25 MPa までほぼ直線的に上昇し、ハイドレート率は最大 83% であった。

写真6に、圧搾成型圧力 20 MPa にて成型し、-20 に冷却後取り出した直後の円柱状ハイドレートの一例を示す。CO₂ ハイドレートと異なり、高圧での圧搾成型の場合でも透明度の上昇は見られなかった。

これは、混合ガスの主成分である CH₄ は CO₂ に比べて水への溶解量が少ないため、冷却によっても間隙水がハイドレート化する量が比較的少なく、そのまま間隙水が氷になるためと考えられる。したがって、サンプル全体に含まれる氷の部分が多くなり、透明度が低く白濁状態のままとなったものと推測される。この考察に関しては、ガス種や圧力を変えた水への溶解量に着目した更なる検討が必要と考えられる。

6.2 圧搾成型圧力と分解速度の関係

図6に、ハイドレート取出し後2週間、温度 -20 で保管した後の圧搾成型圧力とハイドレートの分解速度の関係を示す。この図より、圧搾成型圧力が 20 MPa 以上になると分解速度が上昇し、CO₂ ハイドレートとは異なる傾向が見られた。圧搾成型圧力と分解速度の関係については、取得データ数を増加させるとともに、ハイドレートの構造分析を行うなど、今後の研究による解明が必要と考えられる。

7. おわりに

圧搾成型圧力のコントロールが容易なピストン方式を採用し、スラリーの生成から圧搾成型、冷却までを一貫して管理された環境下で行う装置の開発を行い、これを用いて圧搾成型圧力を変えて製造したハイドレートのガス包蔵量とガス保

持性能について評価を行った。

本装置で製造した CO₂ ハイドレートは、圧搾成型圧力の上昇に応じて外観が透明になるとともに、ハイドレート率は上昇した。一方、分解速度は圧搾成型圧力の上昇により抑えられ、圧搾成型圧力 20 MPa のときに 0.01%/day であった。

また、NGH においても、圧搾成型圧力の変化によりハイドレート率と分解速度の違いが確認でき、再現性の良いハイドレート製造ができたが、CO₂ ハイドレートほどの透明度と高いハイドレート率は得られなかった。NGH は CO₂ ハイドレートと比べて、ハイドレート率が上がりにくい原料と考えられ、ガス種によるスラリー生成及び圧搾成型条件の最適化などの研究が必要と考えられる。

参 考 文 献

- 1) R. Ohmura, et al. : Clathrate Hydrate Crystal Growth in Liquid Water Saturated with a Hydrate-forming Substance : Variations in Crystal Morphology, Philosophical Magazine, 84,(2004-1) p. 1
- 2) K. A. Udachin, et al. : Structure, Composition, and Thermal Expansion of CO₂ Hydrate from Single Crystal X-ray Diffraction Measurements, J. Phys. Chem. B, 105,(2001) p. 4200
- 3) E. D. Sloan, et al. : Clathrate Hydrates of Natural Gases Second Edition,(1998) CRC Press
- 4) 三町．外：混合ガスハイドレートペレットのラマン分光による局所構造分析，三井造船技報，203 (2011-7)，p. 26
- 5) H. Mimachi, et al. : Effect of Preparation Temperature on Self-Preservation of Mixed Gas Hydrate Crystals via Raman Spectroscopic Analysis, Physics and Chemistry of Ice ,(2010) p. 243, RSC Publishing
- 6) S. Takeya, et al. : Anomalously Preserved Clathrate Hydrate of Natural Gas in Pellet Form at 253 K, J. Phys. Chem. C, 116,(2012) p. 13842

〔問い合わせ先〕

三井造船昭島研究所 事業統括部
TEL 042 - 545 - 3111 久本 隆之



久本 隆之



高野 宰



伊藤 真人

船用 VPC バイナリー発電装置の開発

今井兼久* 佐山五朗** 新開和男*** 難波浩一***

Development of on-board VPC Power Generation System

Kanehisa IMAI, Goro SAYAMA, Kazuo SHINGAI, Kouichi NAMBA

Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd. introduced the power generation technology (VPC : Variable Phase Cycle technology) applying heat source with temperature around 70 to 250 deg. Celsius from Energent Corp. (Santa Ana city, U.S.A.) and has developed the VPC binary power generation system ranging 150 kW through 200 kW at the generating end output applying the waste heat from the air cooler of the main diesel engine on the bulk carrier with main diesel engine power output 7 000 kW through 10 000 kW for the fiscal year 2011 and 2012 in cooperation with Nippon Kaiji Kyokai and Tokyo University of Marine Science and Technology.

In the performance test on the test engine (4S50ME-T9, 7 120 kW, 117 rpm) in May 2013, 154.8 kW of generating end output was measured to the heat input 1 814 kW.

The generating end output to the design heat input 2 148 kW will be extrapolated as 183.3 kW (100% same with design value) and it was confirmed that the load reduction (cut in fuel consumption) of auxiliary generator and 2% reduction of CO₂ can be attained.

The grasp of the outline of VPC technology has been carried out and applicability of this technology to the binary power generation system applying heat source ranging 70 through 250 deg. Celsius has been confirmed through the performance test.

三井造船は、70 から 250 程度の中低温熱エネルギーを利用した発電装置 (Variable Phase Cycle : VPC) 技術を米国 Energent 社 (Santa Ana 市) から導入し、機関出力 7 000 kW ~ 10 000 kW クラスのバラ積み船の主機関掃気冷却器からの排熱を利用した発電端出力 150 ~ 200 kW の VPC バイナリー発電装置の開発を日本海事協会及び東京海洋大学と共同で 2011 年度と 2012 年度にわたり実施した。2013 年 5 月に実施した船用テストエンジン (4S50ME-T9, 7 120 kW, 117 rpm) を用いた性能試験では、入熱量 1 814 kW に対し 154.8 kW の発電端出力を確認し、設計値の 2 148 kW に対して設計通りの 183.3 kW の発電端出力になると評価した。これより船舶補助発電機の負荷低減 (燃費削減) と CO₂ 削減率 2% の達成が可能であること、ならびに本研究開発を通して VPC 技術の有用性と船用及び陸用の中低温排熱利用バイナリー発電装置への適用可能性を確認した。

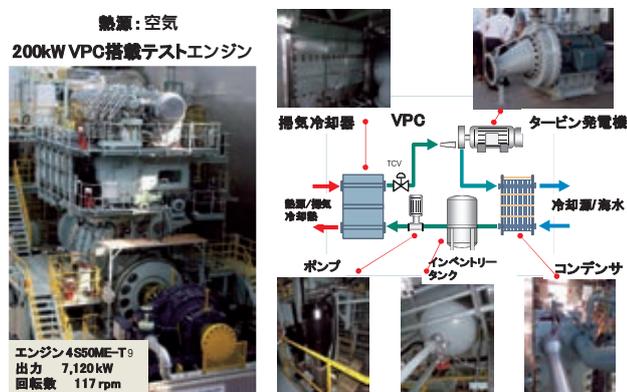


写真 1 200 kW プロトタイプ機 (VPC-S) の概観
General View of 200kW VPC Prototype

表 1 性能試験結果
Results of Performance Test

項目	単位	設計値	性能試験
熱源 (掃気冷却器) からの受熱量	kW	2 148	1 814
設計値に対する入熱量比	-	100%	84.5%
性能試験での発電端出力 (受熱量 1 814 kW)	kW	-	154.8
受熱量比による VPC-S 予想出力 (受熱量 2 148 kW)	kW	183.3	(183.3)*

* : カッコ内数値は受熱量を 2 148 kW としたときの計算値

* 機械・システム事業本部 企画管理部

*** 機械・システム事業本部 機械工場 技術開発部

** エンジニアリング事業本部 玉野エンジニアリングセンター

1. まえがき

外航船舶用主機の主流である大型低速2サイクルディーゼル機関は、定格出力においてその熱効率も機関単体でほぼ50%に達する最高の熱効率を有しており、単体におけるCO₂排出量が最も少ない熱機関であると言える。一方、世界の海上輸送量の増加に伴い、船舶量は増加しており、結果的に船舶から排出されるCO₂の総量は増加している。したがって、地球温暖化防止の観点から、そのCO₂排出量を削減するため、主機関の高効率化が継続的に行われており、具体的には、シリンダ最高圧や平均有効圧の更なる高圧化やロングストローク化、電子制御化による実運用負荷における効率改善などが挙げられる。

しかしながら、図1に示す典型的な大型低速2サイクルディーゼル機関のヒートバランスから分かるように、投入エネルギーのおよそ半分を占めるエネルギー損失についても有効活用すれば、更なるCO₂排出量削減につながる。排気ガスエネルギーは約24%を占めているが、従来より、VLCC (Very Large Crude Oil Carrier)などの大型船舶では、排気ガスの熱エネルギーを利用して生成した蒸気によりタービンを回転させて発電するターボジェネレータシステム(TG)が広く普及している。また、近年、この排気ガスエネルギーの一層の有効利用を目指し、過給機の回転軸に直接高速発電機や油圧ポンプを装備したシステムなど、多くの排熱回収システムの実用化が図られつつある。

残された排熱利用としては、投入燃料発熱量の20%程度を占める掃気冷却器における熱交換損失の有効活用が考えられるが、この熱源の温度レベルは排気ガスに比べて低く、TGなどの既存システムの適用は困難である。そこで、低温排熱回収システムの適用が考えられる。低温排熱回収システム

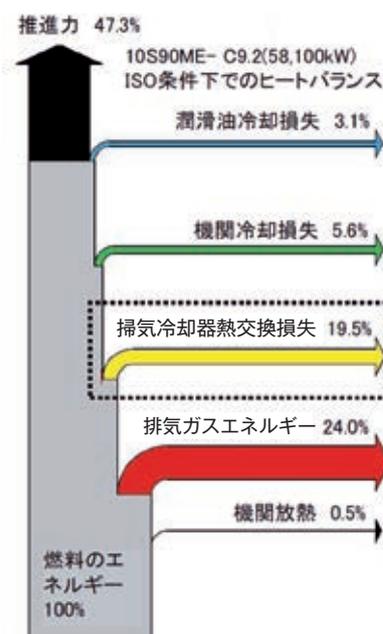


図1 典型的な大型低速2サイクルディーゼル機関のヒートバランス
Heat Balance of Large Sized 2-Cycle Diesel Engine

ムとしては、低沸点媒体を気化させてタービンを駆動するORC (Organic Rankine Cycle)発電システムが代表的なシステムであり、国内数社から船用への適用も報告されている。

これに対して本研究開発は、ORCとは異なる低温排熱回収システムとして、VPC (Variable Phase Cycle)バイナリー発電装置の外航船への適用を目指し、そのシステムVPC-S (Shipの略)のプロトタイプ機を開発するものである。ターゲットとしては、機関出力7000kW~10000kWクラスのバラ積み船の主機関掃気冷却器からの廃熱を利用したVPCバイナリー発電装置により発電端出力150~200kWを得て、船舶補助発電機の負荷低減(燃費削減)を達成し、CO₂削減率2%を達成しようとするものである。

本報では、写真1に示す200kWプロトタイプ機(VPC-S)の開発概要と性能試験結果について述べる。

2. VPCの概要

VPCは、中低温熱源との熱交換媒体として、代替フロンであるR134a, R245faなどの低沸点媒体を利用するバイナリー発電装置である。VPCで利用するVariable Phase Turbine (VPT)は、いわゆるドラバルタービンと称される単段軸流衝動タービンである。

熱交換器を通して加熱した作動媒体を、ノズルを経由して熱エネルギーを運動エネルギーに変換し、ロータ羽根に吹き付けることによりロータ軸に接続された発電機を駆動する。ノズル上流の作動媒体がガス、気液二相流及び液体の3種類の相に対応した最適なノズル及び羽根形状が設計可能であり、更に超臨界条件にも対応できることからその適用範囲は広い¹⁾。

以下に、ノズル上流での作動媒体が液体でノズルを通して二相流に変換される、いわゆる二相流タービンのVPT及びVPCの概要を示す。

2.1 ノズル及びタービン構造^{2),3)}

蒸気ではなく、二相流を直接吹き付ける二相流タービンを用いることにより、バイナリー発電の簡素化及びコンパクト化が大きく促進される。このためには、十分な質量流量を確保した上で、気液速度差の少ない平衡均質二相流を生成するノズル開発が必要である。図2にノズル及びタービン構造を示す。加圧・加熱した媒体を気化させずに液体のまま管状ノズル

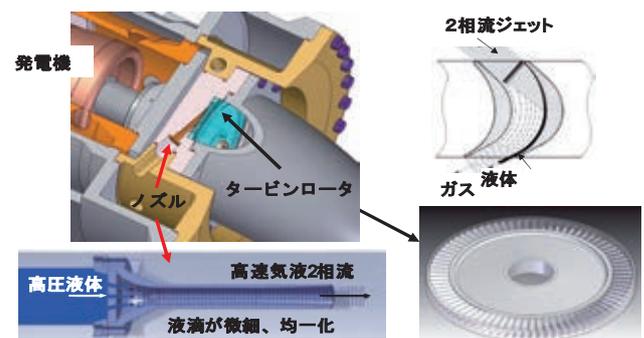


図2 ノズル及びタービン構造
Cross Section of Nozzle and Turbine Structure

で膨張させ、一部を気化させて二相流を生成する。ノズル上流から下流に向かうに従って、ガスのせん断応力が液相を微小液滴に分割し、ガスが運動量を液滴に伝達する。気相と液相のち密な連成により微小液滴を十分に加速し、ノズル出口でガス流速と液滴の流速をそろえる。ノズル流速は、エロージョン限界速度に比べて十分低く設計されている。作動媒体が有する熱エネルギーを有効に運動エネルギーに変換するためには、液滴を可能な限り均一微細化することが重要である。軸流衝動タービン翼に吹き付けられた二相流の中の液相は、遠心力によって翼の腹面に層を作って流れる。

2.2 タービンで得られるトルク⁴⁾

図3にタービン羽根における速度三角形を示す。ノズル内で得られた速度エネルギーがピッチ b 、弦長 d の羽根群に与えられる。図でノズルの固定角度 α は $15 \sim 20^\circ$ に取り付けられ、ノズルからの二相流は C_1 の流入速度となり、図3右図のように羽根を U の周速で回転させる。羽根に作用する周方向の力は、 W kg の流体について

$$F = (W/g) \cdot (C_1 \cos \alpha - C_2 \cos \beta) \dots \dots \dots (1)$$

となることから、ロータの効率は次式となる。

$$\eta = (F \cdot U) / (W \cdot C_1^2 / 2g) \\ = U \cdot (C_1 \cos \alpha - C_2 \cos \beta) / (C_1^2 / 2) \dots \dots \dots (2)$$

ここで、羽根の摩擦損失係数を y として $1 - y = f^2 = Cr_2^2 / Cr_1^2$ で表せば、式(2)は次式のようになる。

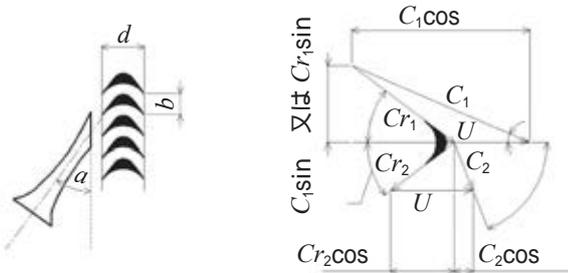


図3 タービン羽根における速度三角形
Velocity Triangle at Turbine Blade

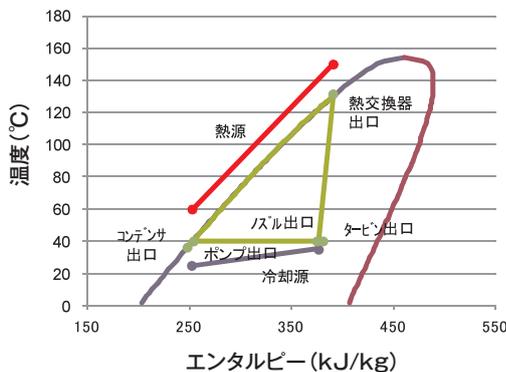


図4 VPC サイクル図(媒体 R245fa)
Variable Phase Cycle for R245fa

$$\eta = (2U/C_1^2) \cdot (C_1 \cos \alpha - U) \cdot (1 + f \cos \beta / \cos \alpha) \dots (3)$$

なお、二相流の場合の流入速度 C_1 は式(4)で与えられる。

$$C_1 = (M_l \cdot V_l + M_g \cdot V_g) / (M_l + M_g) \dots \dots \dots (4)$$

ここに、 M_l, V_l 及び M_g, V_g は二相流の液体及びガスの質量流量及び流速を示す。ノズルは熱源の能力に応じて複数本設置される。ノズル本数を N として、タービンの羽根中心半径を R とすれば、得られるトルクは式(5)で表される。

$$T = F \cdot R \cdot N \dots \dots \dots (5)$$

2.3 VPC サイクル

図4に、媒体として R245fa を用いた場合の VPC サイクル図を示す。VPC サイクルとの比較のために、図5に同様に ORC のサイクル図を示す。また、VPC の特長を以下に示す。熱源との熱交換器に入る作動媒体の圧力を高めに設定して、液体のまま温度を高め、気化させない。

ORC は媒体を飽和又は過熱蒸気にするため、予熱器、蒸発器、過熱器といった複数の熱交換器が必要になるが、VPC は空気(掃気)-液の一つの熱交換器だけでよく、ORC に比べてコスト削減が可能である。熱源が液体の場合、同じ伝熱面積であれば、液-液の熱交換になるため熱交換量が多く、熱交換器のコンパクト化とコスト削減が図れる。ORC ではピンチポイント温度差により媒体の熱交換器出口温度が制限されるが、VPC では設計上のピンチポイントがないため、媒体の熱交換器出口温度の下限温度を低く取れ、ORC よりも多くの熱量を回収できる。図6に、121 の熱源熱水で、媒体として R134a を用いた場合の VPC と ORC の出力試算例を示す³⁾。熱源熱水の出口温度が低くなるにつれて、VPC と ORC の出力差が顕著になることが分かる。ここで、送電端出力は発電端出力から媒体ポンプ動力を差し引いたもので、冷却源の所要動力は考慮していない。一方、VPC では、作動媒体を高圧にて熱交換器へ供給しなければならぬため、ORC に比べてポンプの所要動力が大きくなるという難点がある。

タービン回転数はタービン直結の誘導発電機により、例えば2極の場合 3000 rpm (50 Hz) 又は 3600 rpm (60 Hz)

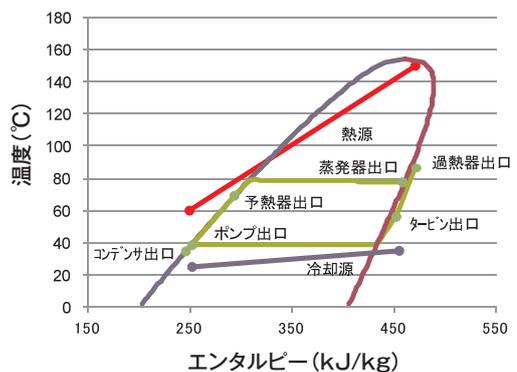


図5 ORC サイクル図(媒体 R245fa)
Organic Rankine Cycle for R245fa

で維持される。したがって、ORCのような高速回転タービン及び減速機の設置が不要で、導入時及びメンテナンスコストが削減できる。タービンの回転数と制御方法についてはORCと同様である。

2.4 性能計算システム

性能計算システムの概要を以下に示す。

与えられた熱源と冷却源条件に対してVPC、ORC、超臨界及びVPC二相流の性能計算を行う。超臨界は図4に示す熱交換器出口における媒体温度が媒体の臨界点を超えるケース、VPC二相流は熱交換器出口での媒体が二相流のケースである。

性能計算では、二相ノズル性能計算コード及び軸流衝動タービンコードを利用する。

性能計算でノズル形状とタービンロータのパラメータを設計し、熱交換器の要求仕様を作成する。

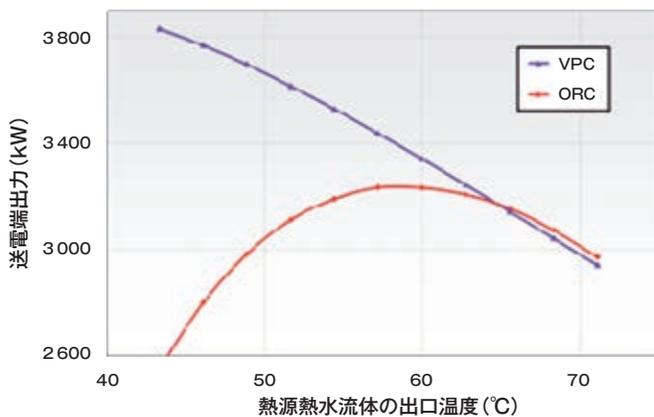


図6 VPCとORCの性能比較例(媒体R134a)
Comparison of Performance between VPC and ORC for R134a

基本的にユーザとのやり取りは、ワークシートを通じて行う。ユーザの入力I/Fとして“Heat Source Module”, “Cooling Sink Module”, “Refrigerant Conditions Module”, “Turbine Parameters Module”の4種類のモジュールが用意されている。

図7に性能計算システムの出力例を示す。

3. 200 kW プロトタイプ機(VPC-S)の開発

3.1 プロセス条件と配管系統図

対象とする主機関及び設計点となるプロセス設計条件を表1に示す。VPC-Sの熱源となる掃気冷却器での空気流量及び温度は、船舶の連続常用定格NSR (Normal Service Rating) 負荷における主機関予想性能データを使用した。このプロセス設計条件をもとに決定されたVPC-Sの配管系統図を図8に示す。

同図に示されるVPCの配管系統は、当社の保有するテストエンジンである船用ディーゼルエンジン4S50ME-T9に実装したものであり、VPC加熱器を掃気冷却器の上流に配置し、過給機コンプレッサ出口の高温空気を冷却することにより得られた熱エネルギーにより媒体(R245fa)液を加熱している。VPC加熱器を出た媒体は圧液状態のまま二相流タービン(VPT)へ導かれ、タービンに内蔵された二相流ノズル内で膨張し二相流ジェットを形成し、タービンを駆動する。

タービンを出た排気媒体は水冷式凝縮器にて凝縮・冷却され、媒体タンクを経由してブーストポンプ及び循環ポンプによりVPC加熱器に送られることで、シンプルな熱サイクルが形成されている。

3.2 発電装置の仕様と概要

VPC-Sを構成する主要機器は、VPC加熱器、タービン及

Run All 3		Match Flow	Refr. Cycle	Axial Turb	TurbInletP: 147 kW	05/2013 16:06 VPC4.0.xls				
Repair Links		R245fa			CycleP: 131 kW	Unit Set: Metric				
					ProjectP: 128 kW	Run As Turb as DLL				
						OverWriteCheck: No				
Temperature	Pressure	Enthalpy	Density	Quality	Flow Rate	Efficiency	Power	Delta P	Altitude	
°C	bara	kJ/kg	kg/m ³		kg/s	%	kW	bar	m	
Heat Source Inlet	250.00	1.0	0.0		11.2611	40.540			0.0000	0
Heat Source Exit	150.00	1.0	-100.7							
Heat-X Inlet	30.7	37.8	241.2	1334.86	0	2.89331	10,416	2.188	0.0000	0
Heat-X Exit	242.0	37.0	631.4	140.01	superc	2.89331	10,416	20.180	0.1	0
Nozzle Inlet	241.9	36.9	638.4	139.576	superc	2.89331	10,416	20.73	0	0
Nozzle Exit	157.4	2.0	558.1	7.683	sh	2.89331	10,416	377.6	98.0%	19.7
Rotor Exit	177.6	2.0	578.5	7.300	sh	2.89331	10,416	388.4	70.2%	163.1
Condenser Exit	27.5	2.0	235.9	1331.84	0	2.89331	10,416	2.172	0.0000	-1.2187
Boost Pump Inlet	27.5	2.1	236.9	1331.86	0	2.89331	10,416	2.172	35.0%	-0.40
Boost Pump Exit	27.6	3.4	236.1	1332.12	0	2.89331	10,416	2.172		1.379
Main Pump Inlet	27.6	2.7	236.1	1331.84	0	2.89331	10,416	2.172		0.3447
Main Pump Exit	30.7	38.4	241.2	1334.82	0	2.89331	10,416	2.188		0.0000
Cooling Water Inlet	20.0	1.7	84.1	998.24	0	26.3006	94,920	28.41	Pump Effic.	-2.8
Cooling Water Exit	29.0	1.0	121.7	995.95	0			28.47	65.0%	-0.1003

HEAT EXCHANGER PARAMETERS	
Heat-X Exit T (°C)	242.0
R245fa Critical Temperature (°C)	154.0
R245fa Critical Pressure (bara)	38.5
Noz Inlet Pressure (bara)	36.9
HK Heat Xlcr (kW)	1126.86
U (W/m ² K)	1436
Total Area (m ²)	21.8
LMID (°C)	28.12
Avg ID (°C)	45.62
Min. ΔT pinch desired (°C)	8.00
Min. ΔT pinch actual (°C)	8.5

CONDENSER PARAMETERS	
Condensing T (°C)	33.0
Condensing P (bara)	2.0
Subcooling (°C)	4.89
Cond. Heat Xlcr (kW)	981.265
U (W/m ² K)	2271
Total Area (m ²)	28
LMID (°C)	47.24
Avg ID (°C)	15.89
Min. ΔT pinch desired (°C)	8.00
Min. ΔT pinch actual (°C)	7.5

MISCELLANEOUS INPUTS	
HeatSource fluid	Air
Type of cycle?	Superc
Vary HXExit to get HK pinch?	Fluid
Vary Cond. T. to get pinch?	Yes
Main Pump on Turbine Shaft?	No
Use Boost Pump?	Yes
Use Recuperator?	No
Generator Efficiency	86.0%
Nozzle Efficiency	86.0%
Pump Efficiency Method	As Turb
Generator Flow Fraction	0.07%
Pump Speed (rpm)	3636
Number of Nozzles	7
Nozzle Angle (deg)	30
Nozzle Length (cm)	33.0

OTHER WORKING CYCLE INFORMATION	
Required FC-424a flow rate	2.8883 kg/s
Heat rate to working fluid	1126.9 kW/h
Heat-X Exit Pipe ID	5 cm
Heat-X Exit Pipe Velocity	10.20 m/s
Nozzle Exit Enthalpy (barotropic)	552.97 kJ/kg
Nozzle Exit Velocity	388.17 m/s
Nozzle Exit Diameter	1.330 cm
Nozzle Exit Vapor Flowrate	2.8933 kg/s
Nozzle Exit Liquid Flowrate	0E+00 kg/s
Mean Line Rotor Diameter	0.82 m
Nozzle Rotor Coverage Angle	4.9708 °
Boost Pump Inlet HP-24A	3.4 m
Pump HP3 (kW/Stage)	8.21
Pump RPM / No. / E/F	3600 / 004.1 / 51.8%
Generator Power Dissipation	0.1261 kW
Gross Shaft Power Rate	47.688 MW/sha
Gross Electric P (barbMump)	131 kW
Cycle Efficiency	12.2%
Plant Net Thermal Energy Effic.	11.0%
Power Rate (MW/Sha)	0.11

図7 性能計算システムの出力例
Example of Performance Calculation

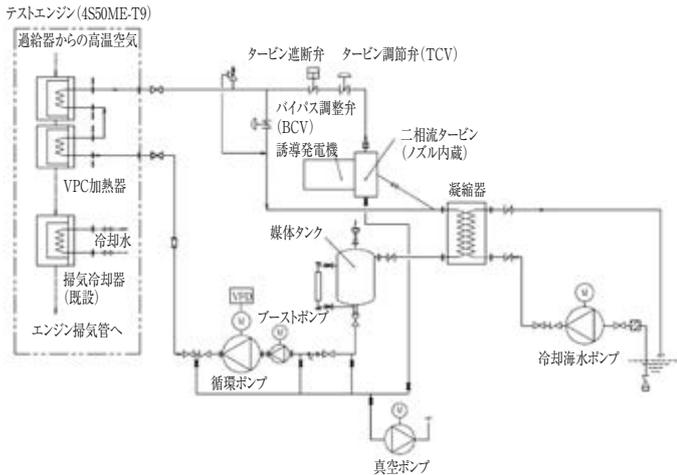


図8 VPC-Sの配管系統図
Piping Diagram of VPC-S

表2 VPC加熱器の仕様
Specification of VPC Heat Exchanger

機器名	項目	仕様
VPC 加熱器	型式	プレートフィン熱交換器
	交換熱量	2 030 kW
	入口 / 出口 温度	空気：185/60 媒体：28/130

び発電機、凝縮器及び媒体ポンプであるが、できる限り汎用の機器と技術の組合せで実現できることを主眼に置いて選定しており、その概要を以下に示す。

3.2.1 VPC 加熱器

従来より主機関掃気冷却用に採用されている掃気冷却器（インタークーラ）と構造的には変わらないが、冷却側の媒体圧力が通常の冷却水圧力より高いため、漏洩が起きないように構造的な配慮がなされている。VPC 加熱器の設計交換熱量は、最も外気温度が高い時の主機関最大連続負荷条件で決定しており、VPC-S 設計条件における熱源熱量より大きな交換熱量が必要となるが、VPC 加熱器入口空気温度が高いため、所要伝熱面積は VPC-S 設計条件時のデータにより決定している。VPC 加熱器の主要仕様を表2に示す。

3.2.2 タービン及び発電機

タービンは VPC-S のキーハードとして独自に開発された単段衝動式二相流タービンを採用し、上流の二相流ノズルをタービンケーシングに内蔵したシンプルな構造となっている。タービン羽根車は発電機軸に直接結合されており、軸貫通部には二重メカニカルシールを使用し、媒体の外部漏洩を防いでいる。発電機には誘導式を採用し、船舶電気系統との接続設備が簡易なものとなるように配慮している。したがって、タービンには一般の蒸気タービンに装備されている主蒸気止め弁や蒸気加減弁はなく、代わりに、タービン上流にタービン遮断弁及びプロセス弁としてのタービン調節弁を配置している。タービン及び発電機の主要仕様を表3に示す。

3.2.3 凝縮器

バラ積み船では海水を冷却水として使用することが多く、

表3 タービン及び発電機の仕様
Specification of Turbine and Generator

機器名	項目	仕様
タービン	形式	単段衝動式二相流タービン
	出力	最大 200 kW
	回転数	3 600 rpm
	軸封形式	N ₂ 加圧ダブルメカニカルシール
発電機	形式	三相誘導発電機
	出力	250 kW
	回転数	3 600 rpm

表4 凝縮器の仕様
Specification of Condenser

機器名	項目	仕様
凝縮器	形式	プレート式熱交換器
	交換熱量	2 280 kW
	入口 / 出口 温度	媒体：36/26 海水：25/33

表5 媒体ポンプの仕様
Specification of Working Fluid Pump

機器名	項目	仕様
ブーストポンプ	形式	縦軸多段渦巻きポンプ
	吐出し量	51 m ³ /h
	全揚程	60 m
	回転数	3 510 rpm
循環ポンプ	電動機	18.5 kW
	形式	縦軸多段渦巻きポンプ
	吐出し量	51 m ³ /h
	全揚程	153 m
	電動機	45 kW

冷却用熱交換器も機器設置スペースの小さいプレート式熱交換器が採用されていることを考慮して、VPC-S でも海水冷却プレート式熱交換器を採用した。しかしながら、VPC-S の中では凝縮器が最も大きな機器で、コンパクトな配置を難しくさせている要因となっている。凝縮器の主要仕様を表4に示す。

3.2.4 媒体ポンプ

凝縮器で液体となった媒体は、媒体タンクを経て媒体ポンプにより VPC 加熱器に送られる。VPC-S の特長である VPC 加熱器出口での液相状態を維持するために媒体ポンプは高揚程のものが become 必要になるが、メーカーの標準型番の制約により、ブーストポンプ及び循環ポンプで構成されるブースト形式を採用した。媒体ポンプの主要仕様を表5に示す。

4. 200 kW プロトタイプ機(VPC-S)の性能試験

4.1 試験装置概要

VPC-S はバラ積み船における掃気冷却器からの廃熱回収設備として計画しているが、陸上での試験では当社玉野事業所に設置しているテストエンジン(4S50ME-T9, 7 120 kW, 117 rpm)の掃気冷却器を熱源として設備を配置した。

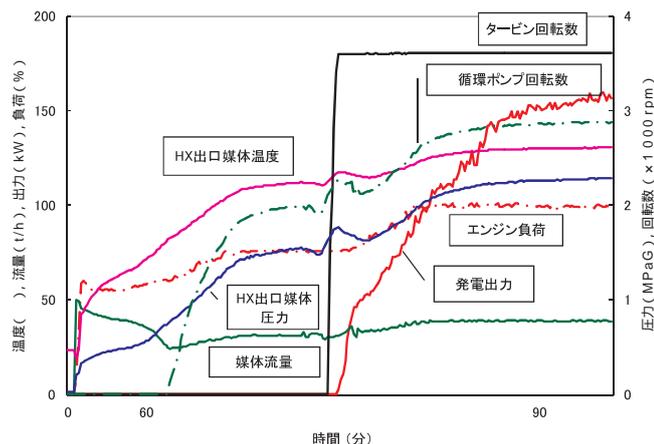


図9 起動時のトレンドチャート
Time History Profile of System Start Up

4.2 試験運転手順

VPC-S では R245fa を媒体として使用するため水分が混入すると物性が変化し、設計通りの熱サイクルが得られない。したがって、機器及び配管の耐圧テスト、洗浄は機器メーカー及びプレファブ工場個別に実施することとし、組み上げ後の一括水圧テストを避けることとした。また、配管ラインのフラッシングは、R245fa を張り込んだ後にブーストポンプによる定格流量以上の循環運転を行い、ストレーナを清掃することで異物除去を行った。試運転調整を実施した後、性能試験を以下の手順で実施した。

凝縮器用冷却海水ポンプ起動

システム起動

制御盤のタッチパネルで VPC-S を起動する。ブーストポンプに引き続き、循環ポンプが自動起動し、タービンバイパス運転を開始する。

循環ポンプは、エンジン負荷に応じて掃気冷却器内で蒸発が起きない熱媒体圧力を保持するように、VFD (Variable Frequency Driver) により回転数制御される。起動時は媒体の温度が低いため循環ポンプの回転数はゼロとなり、媒体の循環はブーストポンプによって行われる。

テストエンジン起動

掃気冷却器を通過する空気量と温度はエンジン負荷に応じて上昇し、それに伴って媒体の温度も上昇する。性能試験ではエンジン負荷 60% で媒体温度が 80 程度になり、所定の媒体流量及び圧力を維持するために循環ポンプの回転数が徐々に増加する。

タービン起動

タービンは媒体温度が 90 以上であることを起動条件として、起動はタッチパネル上で運転員が操作するシステムとしている。起動信号によりタービン遮断弁が全開し、バイパス調節弁 (BCV) からタービン調節弁 (TCV) へ媒体ラインの切り替えが自動で行われる。タービン発電機は、定格回転数 (3 600 rpm) に達すると発電機用遮断器が閉じて発電を開始する。図 9 に起動時のトレンドチャートを示す。

通常運転

VPC-S は廃熱エネルギーを最大限回収する思想で設計し

ているため、タービン調節弁は圧力損失を抑えるために全開で使用することとし、媒体の流量及び圧力の調節は循環ポンプの回転数制御により行われる。テストエンジン負荷が 100% に達した後は、表 1 に示すように、入熱量 1 814 kW に対し 154.8 kW の発電端出力を確認し、設計値の 2 148 kW に対して設計通りの 183.3 kW の発電端出力が予想されることを確認した。

タービン停止

タービンの通常停止はタッチパネルで行う。緊急時用として、タービンの機側及び制御盤上に非常停止ボタンが設置されている。TCV から BCV への流量切り替えが徐々に行われ、VPC-S はタービンバイパス運転モードに移行する。発電出力がゼロになると発電機用遮断器が開き、同時にタービン遮断弁が閉じる。

テストエンジン停止

VPC-S 停止

冷却海水ポンプ停止

5. あとがき

70 から 250 程度の中低温熱エネルギーを利用した VPC 技術を導入し、機関出力 7 000 kW ~ 10 000 kW クラスのバラ積み船の主機関掃気冷却器からの廃熱を利用した VPC バイナリー発電装置を開発し、性能試験により設計の妥当性と VPC 技術の有用性を確認した。この研究開発成果に基づき、船用 VPC は実船試験に移行し、陸用 VPC は改良と改造を経て事業化を行う計画である。

最後に本研究にご協力ならびに貴重なご助言を頂いた日本海事協会、東京海洋大学の関係各位に厚く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) L. Hays, et al.: Variable Phase Turbine, United States Patent US 7,093,503 B1, (2006-8)
- 2) P. Welch, et al.: New Turbines to Enable Efficient Geothermal Power Plants, GRC Transactions, 33, (2009) p. 765
- 3) P. Boyle, et al.: Variable Phase Cycle, 日本ガスタービン学会誌, 41, 6(2013-11), p. 461
- 4) 泉: 工業熱力学, (1965), p. 188, 朝倉書店

〔問い合わせ先〕

機械・システム事業本部 企画管理部
TEL 03 - 3544 - 3043 倉山 潔



今井 兼久 佐山 五朗 新開 和男 難波 浩一

高吸水性アクリル繊維を用いた コンクリート養生マットの開発

皆田 龍一* 今西 謙二** 立神 久雄*** 鈴木 康宏****

Development of Concrete Curing Mat Using Super Absorbent Acrylic Fiber

Ryuichi MINATA, Kenji IMANISHI, Hisao TATEGAMI, Yasuhiro SUZUKI

Curing in concrete placing is very important for construction of concrete structures with high durability. Therefore, concrete curing mat made of super absorbent acrylic fiber with high water holding capacity was developed to enable wet curing. Much attention was paid during the development to keep heat retentivity of the mat for cold winter and humidity retentivity of the mat for hot summer.

Excellent adiabatic curing performance and wet curing performance of such newly developed mats were confirmed by exposure test in outdoor/indoor as well as in thermostatic chamber, and heat transfer coefficient was calculated by the results of the tests. In addition, workability of the mat was confirmed through the construction of concrete structure.

コンクリート構造物の耐久性を確保するためには、コンクリートの打込み時に十分な養生を実施することが不可欠である。そこで、養生時に十分な湿潤養生が可能となるように、多量の水を素早く吸収し、保水性能が高い高吸水性アクリル繊維を用いたコンクリート養生マットを開発した。この養生マットは、低温環境下を想定して保温性能に着目した冬季用養生マット“キュアダブル”と、高温環境下を想定して保水性能に着目した夏季用養生マット“キュアエス”である。開発に当たっては、屋外や屋内における暴露試験や恒温室試験により保温・保水性能を確認し、養生マットの熱伝達率を算出した。また、コンクリート構造物工事での試行により施工性の確認を行った。

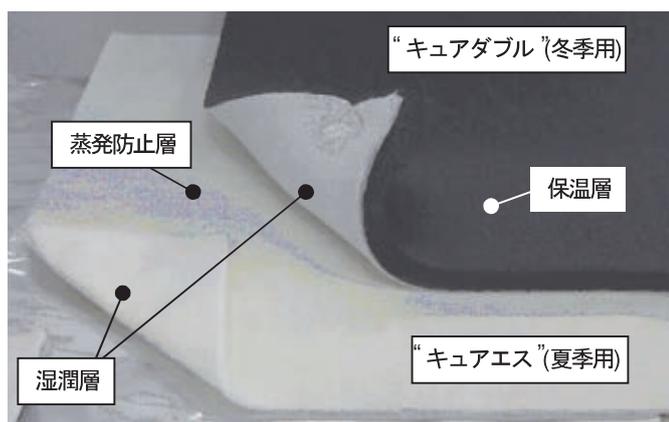


写真1 高吸水性アクリル繊維を用いたコンクリート養生マット
Concrete Curing Mats Using Super Absorbent Acrylic Fiber

表1 コンクリート養生マットの仕様
Specification of Concrete Curing Mats

要 目	冬季用養生マット “キュアダブル”	夏季用養生マット “キュアエス”
吸水性能[実験値] (初期吸水量[/m ²])	3.1	3.7
保温性能[解析値] (熱伝達率[W/(m ² ·K)])	2.5 (無風時)	---
保水層	高吸水性アクリル繊維 ランシール混(40%) +高吸湿発熱繊維 モイスケア混(30%)100g/m ²	高吸水性アクリル繊維 ランシール混(40%)150g/m ²
保温層(冬季用) 蒸発防止層(夏季用)	発泡ポリエチレン (一体型,厚さ10mm)	PEフィルム[透明] (厚さ100μm)

* 三井造船鉄構エンジニアリング株式会社 営業本部 営業企画部

** 東洋紡株式会社 化成品事業本部 AP 事業部

*** ドービー建設工業株式会社 技術部 東京グループ

**** 三井造船鉄構エンジニアリング株式会社 東部建設本部 工事部

1. はじめに

1.1 開発の背景

コンクリート構造物の耐久性低下の要因として、塩害や凍害などに代表される外的劣化因子によるものが数多く報告されている。その対策としては、外的劣化因子を抑制するとともに、コンクリート表層部を緻密化することが有効である。コンクリート表層部を緻密化させるためには、水セメント比を低減させるなどのコンクリート配合に留意する方法や、コンクリート表面含浸材を用いてコンクリート表面を改質させる方法¹⁾などがあるが、コンクリート施工時に実施できる方法として十分な養生を施すことが挙げられる。養生は最も基本的な対策であり、適切な温度のもとで十分な湿潤養生を行い、セメントの水和反応の促進を図ることでコンクリート表層部を緻密化させることが可能となる。適切な養生を施すことは、コンクリート構造物の品質を向上させるためには必要不可欠であり、その重要性については土木学会コンクリート標準示方書²⁾にも記述されている。養生方法としては水中養生が理想的であるが、実構造物に対して実施することは困難である。したがって、不織布などの養生マットをコンクリート表面に敷き、散水した水分を保水させてコンクリート表面を湿潤状態に保つ方法が一般的である。また、コンクリートを適切な温度に保つため、外気温によっては寒中コンクリートや暑中コンクリートとして施工が行われている。

従来より使用されている不織布などの養生マットは、保水性能が低く直射日光や風などによって乾燥するため、1日に数回散水による給水やブルーシートなどを敷設して、水分の蒸発を防ぐ対処が行われている。また、保温効果がなく、低温時にはジェットヒータなどにより給熱養生が行われている。しかしながら、湿潤状態や温度を管理して適切な対処を施す従来の養生方法は、作業が煩雑な上、管理ミスによって不十分な養生となりコンクリートの品質が低下する可能性がある。そこで、三井造船グループは、東洋紡株式会社と共同で、保温・保水性能の向上を図った新しい養生マットを開発した。本報では、開発に当たって実施した各種試験結果について報告する。

1.2 開発したコンクリート養生マットの性能と仕様

開発したコンクリート養生マットは、写真1に示す気温が低い冬季に使用する冬季用養生マット“キュアダブル”と、気温が高い夏季に使用する夏季用養生マット“キュアエス”であり、仕様を表1に示す。

十分な湿潤養生を施すためには、養生期間中に散水を繰り返してコンクリート表面を湿潤状態に保つ必要がある。しかしながら、散水手間がかかることと、現場条件によっては散水の余剰水が周囲に逸散しない対策をする必要がある。したがって、養生開始時の散水のみで湿潤状態が保てるように、湿潤層には高吸水性アクリル繊維“ランシールF”³⁾を用いることとした。“ランシールF”は、繊維としての機能と吸水ポリマーとしての機能を併せ持つ吸水膨潤繊維で、高い吸水性と保水性を有している。また、コンクリート接触面には養生材の付着を防止し、養生後の撤去を容易にする目的でレーヨン・スパンレース層を設けた。レーヨン・スパンレース層

は、ランシール成分であるポリアクリル酸塩や油剤がコンクリート表面に溶出しないように、高吸水性アクリル繊維混不織布とバインダー接着している。

夏季用養生マットは、保水性能を高めるために高吸水性アクリル繊維を150 g/m²として、冬季用養生マットにおける100 g/m²の1.5倍としている。また、夏季用養生マットは、湿潤状態を保持させるためにポリエチレンフィルム(厚さ100 μm)を貼り合わせて、水分の蒸発を抑制している。冬季用養生マットは、保温層として発泡ポリエチレン(厚さ10 mm)を貼り合わせている。また、保温・保水性能を高めるため、高吸水性アクリル繊維混不織布に高吸湿発熱繊維“モイスケア”⁴⁾を30%混合している。“モイスケア”は、吸湿時に吸着熱が発生するアクリレート系繊維で、主にスポーツウェアや肌着などで使用されている。

1.3 コンクリート養生マットの開発課題

コンクリートの品質を確保するためには、コンクリート打込み後の一定期間、硬化に必要な温度及び湿潤状態を保ち、有害な作用の影響を受けないように十分な養生を行う必要がある。養生マットを用いた養生では、養生マットの保温・保水性能だけでなく、養生マットの敷設、散水、養生完了後の養生マット撤去及び保管などの作業性も考慮する必要がある。

湿潤状態を確保するためには、初期吸水量や保水性能を向上させる必要があるが、養生マット撤去時の作業性を考慮すると、適度に水分が蒸発して撤去時における養生マットの質量が運搬可能な状態でなければならない。また、吸水性の高い材料を湿潤層に使用する場合、保水量の減少に伴いコンクリートの水分を吸収して、水和反応に影響することが懸念される。一方、保温効果の高い材料を保温層として使用する場合、床版のような薄いコンクリート断面ではコンクリート内部よりも上面部が高温となり、過剰な養生となり得る可能性も指摘されている⁵⁾。したがって、適度な温度が保てるように、保温層の保温効果を検証する必要がある。

これらの開発課題に対して、暴露試験と現場施工性確認試験を実施して養生マットの仕様を選定し、恒温試験にて開発した養生マットの性能を確認した。

2. 暴露試験

数種類の養生マットを試作し、コンクリート試験体の養生に適用(以下、暴露試験)することにより、養生マットの仕様を選定した。暴露試験では、コンクリート試験体を試作養生マットと比較用の既製品養生マットで養生して、試験体に設置した熱電対で温度計測を行い、保温層の保温性能を確認した。また、適宜、養生マットの質量計測を行い、質量減少量を保水量の減少として扱うことで保水性能を評価した。

試験体は図1に示すように、コンクリート躯体寸法をW900 mm × D900 mm × H300 mmとし、側面と下面に合板製の型枠を設けた。また、養生対象面以外からの熱伝達を抑制するために、側面は型枠の内側と外側に50 mmの断熱材を、下面は型枠の外側に100 mmの断熱材を設置した。断熱材は硬質ウレタンフォーム(保温板2種2号、熱伝導率0.0024 W/(m・K)以下)を用いた。型枠と断熱材は、試験終

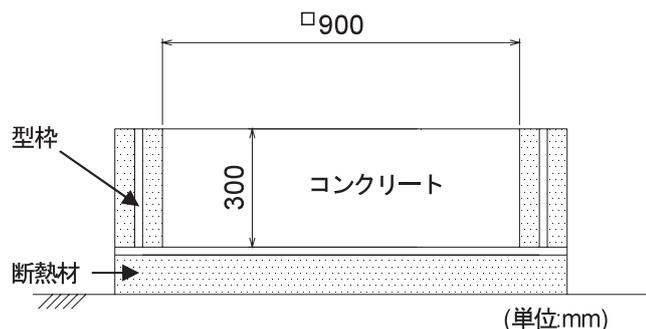


図1 暴露試験に用いた試験体形状
Specimen Shape used in Exposure Test



写真3 夏季暴露試験状況
Summer Exposure Test

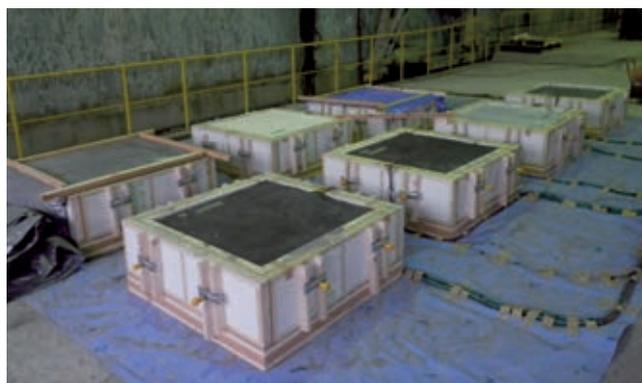


写真2 冬季暴露試験状況
Winter Exposure Test



写真4 コンクリート養生マットの敷設状況
Concrete Curing Mat Placed

了時まで取り付けたままとした。

2.1 冬季暴露試験

冬季用養生マットの暴露試験は、ドーピー建設工業株式会社幌別工場(北海道登別市)の建屋内で、2012年3月27日から4月24日まで実施した。試験期間中の平均気温は5.7(最低-2.1, 最高14.2)で、平均湿度は67.7%R.H.(最低32.2%R.H. 最高89.7%R.H.)であった。養生マットへの給水方法は、水を溜めたバットに養生マットを30分間浸漬し、30秒間水切りを行う方法で統一した。養生期間はコンクリート内部と外気温が同程度となるまでとして14日間行い、養生中は追加で散水は行わないものとした。養生中の試験状況を写真2に示す。

2.2 夏季暴露試験

夏季用養生マットの暴露試験は、ドーピー建設工業株式会社掛川工場(静岡県掛川市)で、2012年7月25日から8月22日まで実施した。また、日射の影響を確認するために、夏季暴露試験は屋外で実施した。試験期間中の平均気温は29.9(最低24.6, 最高38.0)で、平均湿度は69.1%R.H.(最低33.1%R.H. 最高97.1%R.H.)であった。養生マットへの給水方法は、冬季暴露試験と同じ方法とした。養生は7日間行い、養生中は追加で散水は行わないものとし、雨水が試験体にかからないように透明ポリカーボネート波板の簡易的な屋根を設けた。また、風による養生マットの飛散を防止するため、ネットにより養生マットを試験体に固定した。養生中の試験状況を写真3に示す。

3. 現地施工性確認試験

暴露試験で選定した養生マットの使用性や耐久性を確認することを目的として、実工事で養生マットを用いたコンクリート養生を行った。本報では、鋼橋RC床版で、冬季用養生マット“キュアダブル”を使用した結果について示す。

3.1 養生マットの敷設及び給水作業

使用した養生マットは、幅0.98m×長さ5mを5枚と幅員調整用の幅0.15m×長さ5mを1枚である。現場には10m巻きと20m巻きの養生マットを用意して、所定の大きさにカッターナイフで切断した。

類似製品では、巻きのままタンクなどの水槽に浸漬するか、巻き立てた状態でホースにより上から給水する施工手順となっている。前者の方法では水槽の用意が必要になり現場での手間が増えるため、今回は後者の方法と湿潤層面を上にして給水する方法を試行した。巻き立てた状態でホースにより上から給水する方法では、吸水ロスが多く、長時間給水しても湿潤層に均一に吸水させることができなかった。一方、湿潤層面を上にして給水する方法では、一般上水道を使用して吸水所要時間が約3分/枚で、吸水の均一性は湿潤層の色の変化を目視で確認することができた。養生マットの吸水量を確認するために質量計測を行った結果、本給水方法でほぼ上限値の吸水量まで給水できることが分かった。養生マットの敷設状況を写真4に示す。

3.2 養生完了後の結果

養生期間中(8日間)は、追加で散水を行わなかった。降雨の影響もあったが、養生完了後においてコンクリート表面は湿潤状態を保っており、養生マットは初期吸水量の約半分保水していた。また、コンクリート表面に繊維の付着や溶出物の付着は見られなかった。使用した冬季用養生マットは、その他の現場で転用を繰り返し、吸水・保水性能について顕著な変化がないか確認試験を行い、問題がないことを確認した。また、夏季用養生マットについても、同様に現場施工性確認試験を実施している。

4. 恒温室試験

開発したコンクリート養生マットの保水性能と保温性能を確認することを目的として、外気変動の影響の制御が可能な恒温室内における養生試験を実施した⁶⁾。

4.1 養生マット

恒温室試験では、冬季用、夏季用ともに暴露試験結果を基に表2に示すように、それぞれ2種類の仕様の養生マットを使用した。製品化した養生マット“キュアダブル”はW100Mで、“キュアエス”はS150である。比較用養生マットは、合成繊維製の一般的なものである。なお、恒温室試験に使用した養生マットの大きさは、300mm×300mmである。

表中の吸水性能の値は、恒温室試験に先立って日本エクスラン工業株式会社に吊り下げ法により測定した結果である。吊り下げ法は、100mm×100mmの養生マットを水に30分間浸漬した後、10分間垂直吊り下げにて水切りを行って、養生マットが保持している水の量を計測するもので、表中の値は3枚の平均値である。同じ目付け量のW100とW100Mで吸水性能が大きく異なるのは、W100Mは高吸湿発熱繊維を混入していることが一因となっていると考えられる。

4.2 試験概要

恒温室試験は一般社団法人日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所(静岡県富士市)の大型恒温室で、2013年1月8日から2月4日まで実施した。恒温室試験では4種類の試験を実施した。実施した試験ケースを表3に示す。本報では、遮熱性能確認試験を除いた ~ の3種類の試験結果について示す。表3に示した湿度と風速は、それぞれハイグロクロン(超小型温湿度ロガー)と風速計による恒温室内における実測値の平均値である。

4.2.1 試験体の製作

試験体は図2に示すように、コンクリート躯体寸法がW300mm×D300mm×H50mmの(a)質量計測用試験体と、W300mm×D300mm×H250mmの(b)温度計測用試験体の2種類を製作し、各種試験を実施した。

各試験体は側面と下面に合板製の外枠を設けて、内側に断熱材として硬質ウレタンフォーム(保温板2種2号、熱伝導率0.024W/(m・K)以下、厚さ100mm)を設置した(写真5)。また、養生時の水が逸散しないように、断熱材の上面には隔切り材を用いて堰を設けた。(a)質量計測用試験体は、蒸発や水和反応以外で水が逸散しないように、コンクリートと断熱材の間にフィルムを貼って防水処理をした。型枠と断熱材は、試験終了時まで取り付けたままとした。

コンクリートの打込みを含めた試験体の製作は、恒温室内の温度を5とした冬季状態と、恒温室内の温度を30とした夏季状態の2回に分けて行った。コンクリートは、共に表4に示す配合のものを使用し、恒温室内でコンクリートを打ち込んだ。コンクリートの締め固めは、試験体で差異が出ないように、締め固め時間と回数を各試験体で同じとなるように管理した。

また、養生マットの熱伝達率算出における温度解析の精度

表2 恒温室試験に用いたコンクリート養生マット
Concrete Curing Mats used in Thermostatic Chamber Test

種類	湿潤層	保温層・蒸発防止層()内厚さ	吸水性能[g/m ²]
冬季用	W100	ランシール混(40%)100 g/m ²	発泡ポリエチレン(10 mm)
	W100M	ランシール混(40%)+モイスケア混(30%)100 g/m ²	発泡ポリエチレン(10 mm)
夏季用	S150	ランシール混(40%)150 g/m ²	フィルム[透明](100 μm)
	S150A	ランシール混(40%)150 g/m ²	フィルム+アルミ(150 μm)
比較用	WC, SC	不織布(合成繊維:アクリル+ポリエステル)	なし

表3 恒温室試験ケース
Test Cases in Thermostatic Chamber Test

試験種類	保水性能確認 保温性能確認		熱伝達率算定				遮熱性能確認
	5	30	10	5	30	25	
室温[]	5	30	10	5	30	25	25
湿度[%R.H.]	49	43	50		43		47
風速[m/s]	0	0	0	5.9	0	5.7	0
使用養生マット	W100 W100M WC	S150 S150A SC	W100 W100M WC	W100 WC	S150 S150A SC	S150 S150A	S150 S150A
使用試験体	:(a)質量計測用 :(b)温度計測用		(b)温度計測用				(b)温度計測用

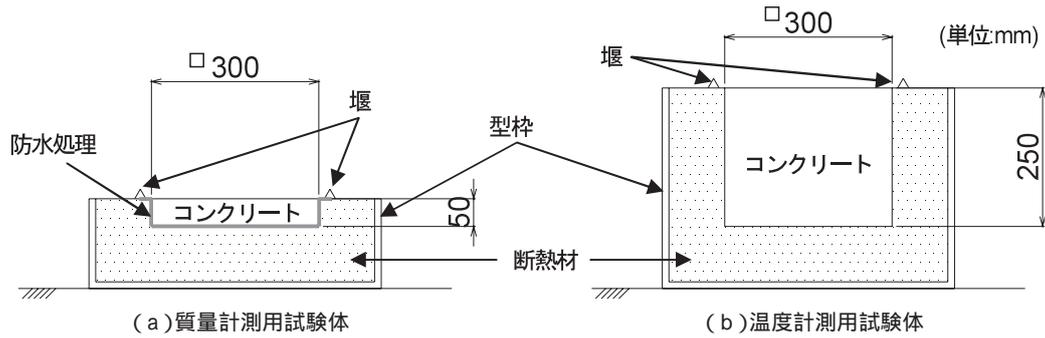


図2 恒温室試験に用いた試験体形状
Specimen Shape used in Thermostatic Chamber Test

表4 コンクリート配合表
Concrete Combination

粗骨材 最大寸法 [mm]	目標 スラブ [cm]	水セメント 比 W/C [%]	空気量 [%]	単位量 [kg/m ³]				
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 Ad
25	8±2.5	47.5	4.5±1.5	156	328	826	1 014	3.85

(注)呼び強度：30，セメント：普通ポルトランドセメント，混和剤：AE 減水剤

を向上させるため、硬化コンクリートの熱拡散率と熱伝導率を測定する試験を実施した。この供試体は、夏季状態の試験体製作コンクリートから、別途コンクリートを採取して専用の型枠に打込んで製作した。型枠は直径 20 cm × 高さ 40 cm で、温度計測用に銅パイプ及び熱電対を設置した。コンクリート打込み後、封緘養生で材齢 7 日目に試験設備のある株式会社太平洋コンサルタントに輸送して、硬化コンクリートの熱拡散率と熱伝導率の測定試験を実施した。

養生マットの敷設はコンクリート打込み後、すなわち冬季用は 7 時間後、夏季用は 4 時間後に行なった。養生マットには、表 2 に示す吸水性能に準じた単位当たり水量を給水した。養生期間は、冬季用養生マットでは 14 日間、夏季用養生マットでは 7 日間とした。養生中は追加で散水は行わないものとした。

4.2.2 保水性能確認試験

高吸水性アクリル繊維を用いた湿潤層は、吸水した水分が乾燥する過程において、その高い吸水性能によりコンクリートの水和反応に必要な水分まで吸収してしまうことが懸念された。そこで、養生期間中における養生マットと(a)質量計測用試験体の質量の経時変化を計測することにより、養生マットの保水量とコンクリート水分への影響を確認した。

4.2.3 保温性能確認試験

養生マットの定量的な保温性能を確認するために、外部因子(気温変化、風、日射など)の影響がない状態を恒温室で再現して、養生時における(b)温度計測用試験体の温度の経時変化を計測した。計測時は、恒温室の空調排気と吸気の風が直接試験体に当たらないように、ビニールシートで作成した簡易的なトンネルで試験体を覆って無風状態とした。

4.2.4 熱伝達率算定試験

養生マットの熱伝達率を算定するため、養生マットを水和



写真5 恒温室試験に用いた試験体型枠
Specimen Form used in Thermostatic Chamber Test

反応が完了した(b)温度計測用試験体の表面に置いて室温を変化させ、無風時(風速 0 m/s)と送風時におけるコンクリート試験体の温度の経時変化を計測した。計測はコンクリートの内部の温度がほぼ室温になった状態で開始して、表 3 に示すように、室温を冬季用養生マットは 10 から 5 に、夏季用養生マットは 30 から 25 に変化させて行った。なお、冬季用養生マットについては、保温性能確認試験で、室温を 5 から 30 に変更した際の無風時におけるコンクリート試験体の温度の経時変化も計測した。送風時は、簡易トンネルの開口部から送風機で風を送り、試験体後方で風速を測定した。養生マットは新しいものに変えて、養生時と同様に吸水性能に準じた単位当たり水量を給水した。

4.3 試験結果

4.3.1 保水性能確認試験結果

(a)質量計測用試験体を使用した養生マット保水量の計

測結果を 図 3 に示す。W100 と W100M は、14 日目においても養生マットが保水していることが確認できた。S150 と S150A は、3 日目に保水量がほぼ 0 になった。これは、室温 30 の状態で平均相対湿度が 43%R.H. と低く、急激に乾燥したためと考えられる。

(a)質量計測用試験体の質量計測結果を 図 4 に示す。各試験体の質量は、養生マットの保水量が 0 になった後から減少しており、養生マットがコンクリートの水分を吸水していないと考えられる。高吸水性アクリル繊維は、養生マットの保水量減少に伴いコンクリートの水分を吸収することが懸念されたが、養生マットがわずかでも水分を保持している間は試験体の質量減少はみられず、コンクリートの湿潤状態が保たれていることが確認できた。

4.3.2 保温性能確認試験結果

冬季用養生マットの保温性能を確認するために、コンクリート表面と内部に熱電対を設置して、室温 5 の恒温室内で養生期間中の温度計測を行った。熱電対の設置位置を 図 5 に示す。 図 6 に(b)温度計測用試験体のコンクリート試験体上面の温度計測結果を示す。W100 と W100M は最高温度

到達後、温度降下は緩やかに推移しており、低温環境下において保温性能が高いことが確認された。

4.3.3 熱伝達率算定試験と温度解析結果

温度変化試験より得られた温度変化データを基に、温度解析を実施し、各養生材の熱伝達率を算出した。温度解析で使用したコンクリート物性値を表 5 に示す。この値は、4.2.4 で述べた硬化コンクリートの熱拡散率と熱伝導率を測定した結果であり、熱伝導率は材齢 14 日、熱拡散率は材齢 15 日の測定値である。コンクリートの比熱(c)は、測定した熱拡散率(h)、熱伝導率()及び見かけ密度()から式(1)を用いて算出した。

$$h^2 = \rho \times c \dots\dots\dots(1)$$

温度解析結果と温度計測結果から同定した各養生マットの熱伝達率を表 6 に示す。温度解析は、汎用ソフト ASTEA MACS (ver.7)を用いた有限要素解析(FE 解析)により行った。解析モデルは、コンクリート部をソリッド要素として表 5 の物性値を与え、熱伝達境界面には養生マットと断熱材の

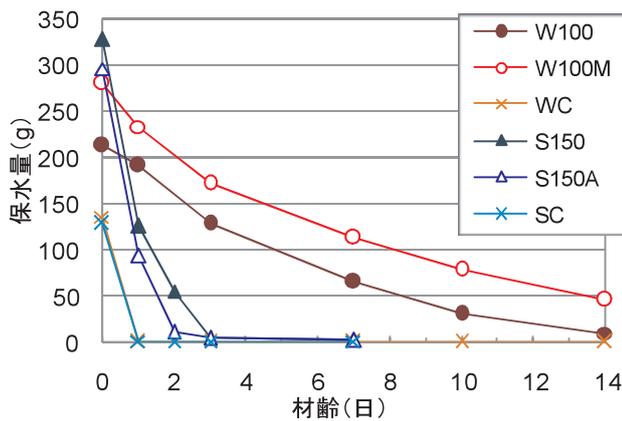


図 3 コンクリート養生マットの保水量変化
Water-holding Change of Concrete Curing Mat

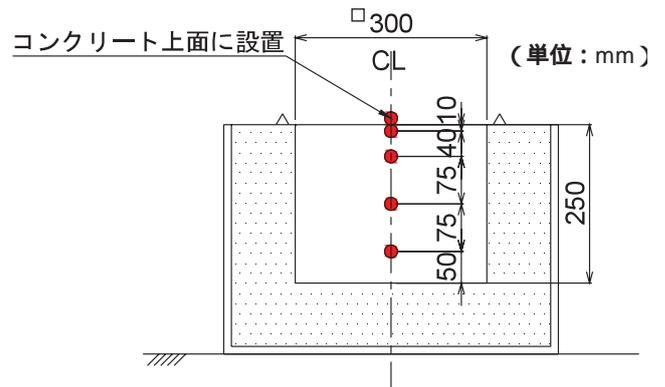


図 5 熱電対設置位置
Setting Positions of Thermocouple

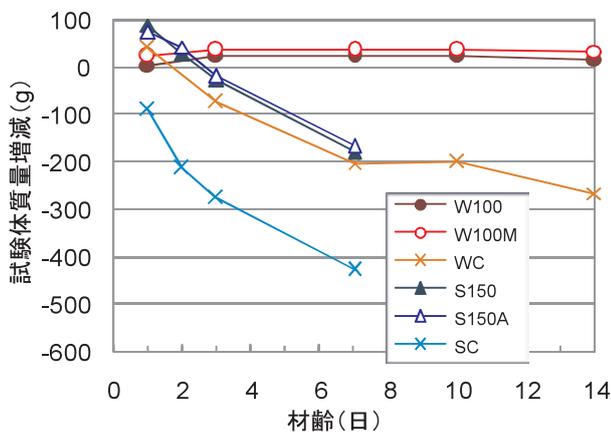


図 4 試験体質量の増減
Mass Change of Specimen

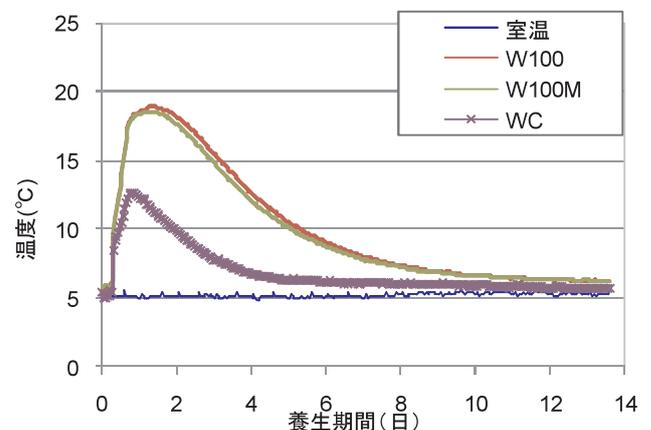


図 6 コンクリート上面の温度変化
Temperature Change of Concrete Surface

表5 コンクリート物性値
Physical Properties of Concrete

熱伝導率	熱拡散率	見かけ密度	比熱
$W/(m \cdot K)$	h^2	kg/m^3	$J/(kg \cdot K)$
1.73	2.93×10^{-3}	2 320	916

表6 コンクリート養生マットの熱伝達率
Heat Transfer Coefficient of Concrete Curing Mats

養生マットの種類	熱伝達率 [W/(m ² · K)]		
	無風	送風	
冬季用	W100	3.0	3.7
	W100M	2.5	---
夏季用	S150	10.0	33.0
	S150A	7.2	19.5
比較用	WC, SC	13.8	21.6

送風時の風速は表3を参照

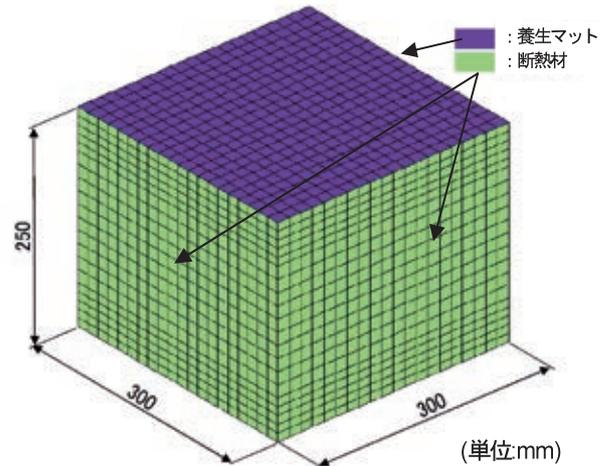


図7 FE解析モデル
Finite Element Analysis Model

参 考 文 献

物性値を与えた。解析モデルを図7に示す。熱伝達率は、表面と深さ 10 mm の温度計測値の平均と深さ 50 mm の温度計測値を線形補間し、表面における温度を推定して求めた。算出期間は、温度計測結果から得られた熱伝達率が安定し、かつ計測値と解析値がほぼ一致している期間とした。養生マットの熱伝達率は、式(2)を用いて算出した。

$$= \frac{(T_1 - T_s)}{t(T_s - T_a)} \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 λ は熱伝達率、 k はコンクリートの熱伝導率、 T_a は外気温、 T_1 は深さ t [mm]におけるコンクリート温度(ここでは $t=50$ mmとする)、 T_s はコンクリート表面温度である。

算出した養生マットの熱伝達率は、高吸湿発熱繊維を混入させた W100M が最も低いことが分かった。これは、高吸湿発熱繊維の添加により質量が増加するとともに、保水性が高くなったことが影響しているものと考えられる。

5. おわりに

開発したコンクリート養生マットは、暴露試験、現地施工性確認試験、恒温室試験及びFE解析により、高い保温・保水性能を有していることが確認された。

一方、養生マット開発の最終的な目的はコンクリートの品質向上であり、引き続き、開発した養生マットで養生を行ったコンクリートの力学的性質、耐久性及び物質移動抵抗性についての評価試験を行っている。これらの試験結果については、別途報告する予定である。

最後に、養生マットの開発に当たり、ご指導、ご協力いただいた関係各位に感謝の意を表する。

- 1) 土木学会：コンクリートライブラリー 137号 けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針(案),(2012-7)
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書施工編,(2013-3)
- 3) 東洋紡：超吸水性繊維ランシール F, http://www.toyobo.co.jp/seihin/ap/lanseal_f/lanseal_f.html,(2014-1-31)
- 4) 東洋紡：高吸湿発熱繊維モイスケア, <http://www.toyobo.co.jp/seihin/ap/moiscare/moiscare.html>,(2014-1-31)
- 5) 師山．外：コンクリート床版における養生方法に関する実験的検討, 石川島播磨技報, 44, 2(2004-3), p. 137
- 6) 立神．外：高吸水性アクリル繊維を用いた養生マットの開発, 土木学会第68回年次学術講演会概要集, V-575,(2013-9), p. 1149

〔問い合わせ先〕

ドーピー建設工業株式会社 技術部 東京グループ
TEL 03 - 3918 - 6176 立神 久雄

三井造船鉄構エンジニアリング株式会社 東部建設本部 工事部
TEL 0436 - 43 - 1853 鈴木 康宏



皆田 龍一 今西 謙二 立神 久雄 鈴木 康宏

66 000 重量トン型バルクキャリアの 1 番船竣工
- 新ジャンルのエコシップ“ neo66BC ” -



写真 1 試運転中の neo66BC“ CLIPPER EXCALIBUR ”

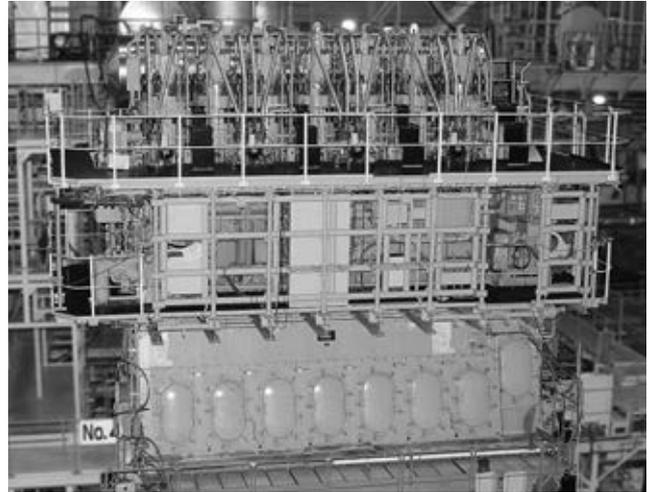


写真 2 主機関(三井・MAN B&W 7S50ME-B9.3)

三井造船は、当社エコシップのラインナップである neo シリーズの第一段となる 66 000 重量トン型バルクキャリア “ neo66BC ” の 1 番船 “ CLIPPER EXCALIBUR ” を玉野事業所にて建造し、2013 年 11 月 6 日に引き渡した(写真 1)。

本船は、世界の 600 ヶ所以上の港湾事情の調査及びパナマ運河の拡張計画を考慮の上、従来のパナマックス幅を超える 36m 幅を採用し、浅喫水で大きな載貨重量を得られる船型とした。そのため、オペレーションでの使い勝手を従来の 56BC 同等に維持しつつ、船型の大型化を実現した。

また、本船は従来船よりも CO₂、NO_x 及び SO_x の排出を低減し、環境への配慮をしている。特に CO₂ 排出に関しては、現時点の国際規制よりも 1 段階厳しい水準を先駆けて満足している。

特長

- (1) 4 基のクレーンを装備した 5 ホールド(貨物倉)を持つ汎用バルクキャリアであり、当社 56BC の使い勝手の良さを踏襲しつつ大型化を図っている。
- (2) 載貨重量 66 000 トン以上を確保でき、貨物倉容積も 82 800 m³ 以上と大容量を確保しており、石炭、鉄鉱石、穀物などの多様なばら積み貨物に対応可能な上、長尺物やホットコイル等の半製品輸送も可能としている。
- (3) 新開発の省エネ船型を採用しており、燃料消費量を抑えている。また、平水中抵抗推進特性のみならず、波浪中の耐航性や操縦性にも配慮した新開発の船首尾形状を採用している。
- (4) オーバーパナマックス幅であるが、現状トレードパターン、港湾事情及び顧客ヒヤリングの結果などを総合的に調査・考慮した結果、幅広浅喫水とすることで、優れた配船自由度と輸送効率を実現している。

- (5) 長さ、幅ともに、このクラスでは最大級のハッチ開口を持ち、高い荷役効率を有している。
- (6) 主機関には MARPOL NO_x 排出規制(Tier II)を満足した新型電子制御エンジンである三井・MAN B&W ディーゼル機関 7S50ME-B9.3 を搭載し、幅広い出力域において低燃費を実現している(写真 2)。
- (7) SO_x 排出規制強化に配慮し、ECA(排出指定海域内)の航行に対応できる低硫黄燃料油専用タンクを有する。
- (8) 国際船級協会連合(IACS)の共通構造規則(CSR)を適用している。

主要目

全長	: 199.99 m
幅(型)	: 36.00 m
深さ(型)	: 18.45 m
総トン数	: 38 203
載貨重量トン数	: 66 721 メトリックトン
主機関	: 三井・MAN B&W ディーゼル機関 7S50ME-B9.3 1 基
連続最大出力	: 8 470 kW
航海速力	: 14.5 ノット(常用出力)
最大搭載人員	: 25 人
船級	: NK
船籍	: パナマ

(船舶・艦艇事業本部)

[問い合わせ先]

基本設計部

TEL 03 - 3544 - 3522 江川 俊太郎

2 MW の浮体式洋上風力発電所が本格稼働

- 福島復興・浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業の一環として短納期で引き渡し -



写真1 2 MW 風力発電施設“ふくしま未来”



写真2 曳航中の“ふくしま未来”

丸紅株式会社(プロジェクトインテグレータ)、東京大学(テクニカルアドバイザー)、三菱商事株式会社、三菱重工業株式会社、ジャパン マリンユナイテッド株式会社、三井造船株式会社、新日鐵住金株式会社、株式会社日立製作所、古河電気工業株式会社、清水建設株式会社及びみずほ情報総研株式会社からなるコンソーシアム(「福島洋上風力コンソーシアム」)が2012年3月に経済産業省より受託した「福島復興・浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業」において、当社は2 MW ダウンウィンド型浮体式洋上風力発電設備1基の建設を担当した。第1期工事として本浮体式洋上風力発電施設を建設したもので、66 kV 浮体式洋上サブステーション(世界初)及び海底ケーブル(浮体間は世界初)の設置工事と陸上付帯設備工事が完了したため、2013年12月から本格的運転を開始した(写真1)。

ダウンウィンド型風車とセミサブ型浮体を組み合わせた浮体式洋上風力発電施設は世界初となる。浮体は当社千葉事業所で建造し、浮体の上に風車を搭載した後、小名浜港まで曳航した。小名浜港で風車の最終調整を行い、福島県沖約20kmの設置海域まで再び曳航し係留工事を行った(写真2)。日本の太平洋側では例のない外洋における風力発電施設の設置工事を当社と関係社の技術と努力で完遂することができた。

第1期工事の完了に伴い、今後は洋上風力発電設備として実海域での試験段階に入り、気象・海象データ及び運転データ収集・分析を行い、浮体式洋上風力発電の安全性、信頼性、経済性を評価するとともに、運転維持管理手法を検討する。

第2期工事では世界最大級の7 MW クラスの浮体式洋上風力発電設備2基が建設される計画であり、本プロジェクトの設備容量は合計で16 MW となり、浮体式ウィンドファームでは世界最大規模となる。日本は遠浅の海が少なく、洋上において風力発電を行うには浮体式の開発が必要であり、ウィンドファームは貴重な実証試験施設となる。

2015年度まで行われる今回の実証研究においては、製造業をはじめとする洋上風力発電関連産業の創出、また浮体式洋上発電設備を日本の主要な輸出産業の1つに発展させることが目標とされているほか、地元の漁業関係者との協議を通じて、本実証研究事業の大きなテーマの1つである“漁業と浮体式洋上ウィンドファームの共存”の実現に向けた取り組みが進められている。

主要目

- 設備名称：ダウンウィンド型風車搭載用セミサブ
“ふくしま未来”
- 設備規模：2MW
- 風車形式：ダウンウィンド型
- 浮体形式：4コラム型セミサブ

(船舶・艦艇事業本部)

〔問い合わせ先〕

事業開発部

TEL 03 - 3544 - 3345 長 拓治

新型カードリーダー “ MiEVAH7700 ” の販売を開始
 - 通信機能を強化し、「企業」と「働く人」のコミュニケーションを支援 -



写真1 “ MiEVAH7700 ”(スタンド式)



写真2 “ MiEVAH7700 ”(壁掛け式)

三井造船システム技研株式会社は、通信機能を強化した新型カードリーダー “ MiEVAH7700 ” の販売を 2013 年 12 月 16 日から開始した(写真1, 2)。

新型カードリーダーの強化した無線通信機能により、LAN 工事などの配線が不要となり、工事現場、展示会、イベントなど一時的に管理が必要な場所でも勤怠管理、作業管理及び安全管理が容易に行えるようになる(図1)。

また、スマートフォンから新型カードリーダーにアクセスすることにより、スマートフォンで個人向けの情報を参照することができるようになる。これにより、例えば、従来パートやアルバイトの人が紙(タイムカードやシフト表)で確認していた勤務実績や勤務予定などを、スマートフォンで確認することができる。

さらに、従来のカードリーダーでは表示が難しかった画像を取り扱うことが可能となり、画像配信で定期健康診断のお知らせや安全ニュースなどの情報を従業員に提供できるようになる。

勤怠管理、作業管理、安全管理の他に、入退室管理、食堂管理などの用途でも活用できる。

販売先として、これまで実績が豊富な製造業や小売業は元より、建設業向けにも提案していく。

特長

- (1)通信機能を強化して、セキュリティと利便性を向上
 - ・本体内部に無線 LAN 機能を内蔵し、抜き取られる危険性のある USB タイプのモジュールを使用せず、セキュリティが求められる用途での利用を可能とした。
 - ・旧型の “ MiEVAH7700 ” の無線 LAN は、クライアントとしての利用に限られたが、アクセスポイント機能を搭載することにより、スマートフォンやタブレットからの

アクセスを可能とし、携帯端末で個人情報を参照できるようにした。

- (2)解像度を向上させた 5.7 型 TFT を採用
 - ・画面表示機能を大幅に向上させた。画面サイズを旧型の 4.7 インチから 5.7 インチ、解像度を 4 倍(QVGA から VGA)に向上させ、表示色も 8 色から 65 536 万色に対応したことにより、写真などの画像表示によるデジタルサイネージ(電子看板)としての利用も可能となった。
- (3)静電容量式タッチパネルで寿命を向上
 - ・タッチ回数の耐久性に優れる静電容量式タッチパネルを採用したことにより、タッチパネルの寿命が大幅に向上した。また、ディスプレイや基板からのノイズを低減する工夫を行い、スマートフォンやタブレットと同様の軽い操作感を実現した。
- (4)将来を考慮した拡張機能を搭載
 - ・オプションで Bluetooth を追加できるインタフェースを搭載し、スマートフォンやタブレットに対して、その日の連絡事項などを能動的に情報発信することが可能となる。
 - ・静電容量式タッチパネルの採用により、将来的にマルチタッチでの操作を可能とした。
 - ・マイク入力のインタフェースを搭載し、今後、音声入力によるサービスへの拡張を可能とした。
- (5)クリアな画面表示を実現
 - ・電源など、熱を発生する部品のレイアウトを見直し、ディスプレイ直下に発熱部品を避ける構成とすることにより、画面に表示ムラが発生する現象の低減を実現した。
- (6)SNMP への対応で、ネットワーク機器の監視を行う利便性を向上
 - ・Simple Network Management Protocol (SNMP) に対応



図1 日々の活用シーン

したことにより、一般的なネットワーク機器と同様な機器管理と監視が可能となり、機器故障や障害時の素早い対応が可能となった。

(7) 設置環境を考慮した筐体構造

- ・筐体構造の見直しを行い、製品背面あるいは壁面への配線としたことにより、設置後にケーブルを隠すことが可能となった。
- ・設置の際に、側面からのネジ止めを不要とすることにより、限られたスペースへの設置を可能とした。

(8) その他

- ・マルチカード対応として、新たに I-CODE にも対応したことにより、低コストの RFID として利用されることの多い I-CODE カードの提案が可能となった。
- ・静電容量式のタッチパネルは、入力面にカバーを張り付けることができるため、スマートフォンのように筐体前面をすべてアクリル板としたデザインに一新した。さらに、このアクリル板の印刷を変えることで従来ではできなかったデザイン変更が可能となり、筐体デザインの自由度が飛躍的に向上した。

主要目

カード I/F

- IC カード : FeliCa(暗号対応), MIFARE, I-CODE
- 磁気カード : JIS 準拠

ユーザ I/F

- ディスプレイ : 5.7 インチ TFT カラー液晶 (640 × 480 ドット, 65 536 万色)
- タッチパネル : 静電容量式タッチパネル(ユーザ入力は、タッチパネル上のファンクションボタンによる)
- インジケータ : RGB フルカラー LED × 1 (電源, OK/NG を 8 色の中から表示)
- 音声 : モノラルスピーカ出力 × 1, マイク入力 × 1

通信 I/F

- 有線 LAN × 1 : IEEE 802.3

- 100 BASE-TX/10 BASE-T (AUTO-MDIX)
- 無線 LAN × 1 (オプション): IEEE 802.11b/g/n 準拠
- 無線 LAN クライアント, 又は無線 LAN アクセスポイント(ブリッジ機能)として利用
- RS485 × 1 : 本体内部ケーブル引き込み式(最大: 115.2 kbps)
- RS232C × 1 : フルモデム制御(最大: 115.2 kbps)
- USB × 1 : USB 2.0 準拠ホスト(Full Speed モード: 12 Mbps)
- 打刻データ取得, 機器ファームウェア更新, 外部オプション機器の接続等に使用
- Bluetooth × 1 (オプション): Bluetooth 3.0 Serial Port Profile(SPP)搭載
- 外部 I/F
 - 接点出力 × 2 : 無電圧接点出力(24 V, 500 mA)
- 時計精度 : 月差 約 ±30 秒(周囲温度 25) (NTP 時刻同期を未使用の場合)
- 停電保証 : 停電累計時間 3 年間(リチウムコイン電池による時計, 打刻データのバックアップ)
- データ容量 : 打刻データ 最大 10 000 件
- 使用環境 : 温度 0 ~ 50 , 湿度 30 ~ 80% R. H. (結露無きこと)
- 電源 : AC100V ± 10% , 50/60 Hz (3P L 型プラグ, ケーブル長 約 1.8 m) 最大消費電力 約 12 W
- 外形寸法 : IC カードタイプ 166(W) × 230(H) × 60(D) 磁気カードタイプ 203(W) × 230(H) × 60(D) (共に取付枠を含む)
- 設置方式 : 壁掛け式及びスタンド式 (スタンド式はオプション)

(三井造船システム技研株式会社)

[問い合わせ先]

ビジネスソリューション事業部 第一営業部
TEL 043 - 274 - 6165 長谷川 英人

三井造船昭島研究所が EEDI 関連で国内初の ISO 9001 を取得 - 国際基準に対応した水槽試験機関として認証 -

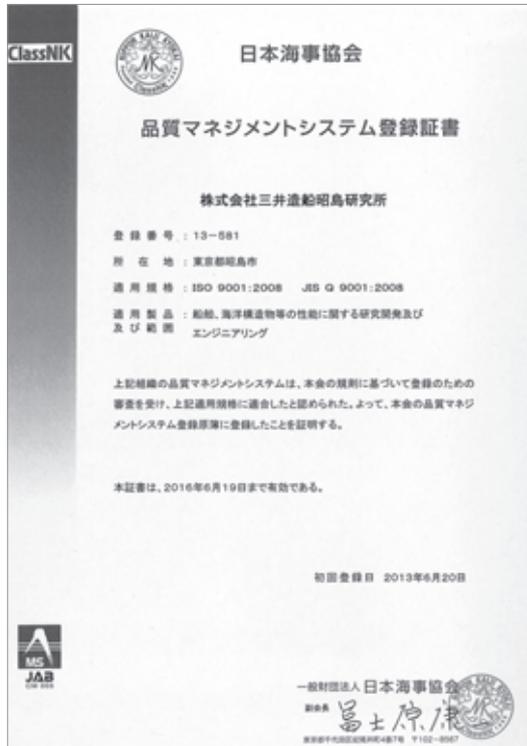


写真1 日本海事協会から授与された登録証書

船舶の海洋汚染防止条約である MARPOL 条約の ANNEX VI の改正により、2013年1月1日付けで新造船の省エネルギー性能の規制値、すなわちエネルギー効率設計指標(Energy Efficiency Design Index: EEDI)が導入され、EEDI 算出目的の模型船水槽試験を実施する機関には、品質マネジメントシステム(Quality Management System: QMS)が要求されることになった。

そこで、三井造船昭島研究所では、品質マネジメントシステム ISO 9001:2008 及び JIS Q 9001:2008 の認証取得を目指して、その認証機関であり、EEDI 関連水槽試験の QMS の認証を行う日本海事協会(NK)へ申請を行い 認証を取得した。

当社は三井造船の研究所として1978年に東京都昭島市に設立され、その後、1986年に分社独立した三井造船の完全子会社である。

当社の主要設備は、曳航水槽2基(長さ220m×幅14m及び長さ100m×幅5m)、潮流水槽1基(長さ55m×幅8m)、回流水槽1基、キャピテーション水槽1基、風洞1基などであり、これらの試験施設を駆使して、三井造船を初めとした顧客が委託する船舶、海洋構造物等の推進、運動、操縦性などの性能に関する研究開発及び関連のエンジニアリングを主要な業務としている。さらに、これらの経験に基づいて開発した操船シミュレータなどの製品及び係留シミュ

レーションなどのソフトウェアも提供している。

認証範囲は「船舶、海洋構造物等の性能に関する研究開発及びエンジニアリング」であり、水槽試験業務のほか、各種エンジニアリング、関連するソフトウェア及び製品開発などを含む。

認証を受けるために、2012年5月に社内準備会を発足させ、6月にNKによる説明会を開催した。また、品質管理部を新設するとともに、7月に登録審査の申し込みを行い、準備会での様々な議論を経て、11月に品質マニュアルをまとめ上げてQMSの運用を開始した。その間、並行して内部監査員の養成や所員へのQMSの教育と研修を行った。また、市販のセキュリティがしっかりした文書管理システムを導入して、その効率化を図った。

品質モットーは「誠実な対応、技術力の向上に努め、顧客の期待を超える質の高いサービスと製品を提供する」であり、これに従った品質方針や各部の品質目標を設定した。

2012年12月にQMSの第1段階審査(文書)を受けた後、2013年2月に内部監査を実施して、2013年3月に第1段階審査(実地)を受けた。そこでは、文書管理など数項目について見直しの指摘を受けた。

指摘事項を改善した後、2013年6月に第2段階審査(実地)を受けて、当社のQMSがISO 9001:2008規格要求事項に適合していることが確認され、6月20日付けで登録証書を授与された(写真1)。

ISO 9001:2008 認証取得の効果としては、顧客要求事項をより正確にレビューするようになったことや、計測精度の保証を常に念頭に置き対処するようになったことなどが挙げられる。

提供したサービスの顧客満足度を把握するために、納品と同時にアンケート用紙を送付し、回答していただくシステムとしている。アンケートの回収率は5割以上であり、担当者は各案件について対応の可否及びその要領を検討し、フォローアップしている。品質管理部では事業分野、客先、担当部署などによりアンケート結果を分析して、品質向上に努める指標としている。

今後は、内部監査やマネジメントレビューを通じて、文書管理の効率化など、更にQMSの有効性をブラッシュアップしていく必要がある。また、品質目標の達成度フォローアップや品質方針の見直しを適正に実施して、品質モットーの遵守に努めて行く。

(株式会社三井造船昭島研究所)

〔問い合わせ先〕

業務統括部

TEL 042-545-3111 上入佐 光

神戸港埠頭株式会社及び東京港埠頭株式会社からコンテナクレーン 6 基を連続受注



三井造船株式会社(社長:田中 孝雄)は、神戸港埠頭株式会社(神戸市中央区,社長:犬伏 泰夫 氏)と東京港埠頭株式会社(東京都江東区,社長:平野 裕司 氏)から神戸港六甲アイランドコンテナ第6・7号岸壁:借受会社/日本郵船株式会社)向けコンテナクレーン3基と東京港大井埠頭(第3・4号パース:借受会社/株式会社商船三井)向けコンテナクレーン3基の合計6基を連続で受注しました。

神戸港から受注したコンテナクレーンは、コンテナ船の大型化に対応できるよう設計されており、主な特長として、22列大型コンテナ船に対応し、荷役効率を向上させるツインリフトスプレッドを搭載しており、超大型地震(レベル2地震動)に耐える免震装置を備えています。

東京港から受注したコンテナクレーンも、コンテナ船の大型化に対応できるよう設計されており、主な特長として、21列大型コンテナ船に対応し、荷役効率を向上させるツインリフトスプレッドを搭載しており、近隣にある羽田空港の高さ制限に適合するための中折れ機構を備えています。

上記の大型船対応のコンテナクレーンの整備により、神戸港及び東京港の港勢拡大および国際競争力強化に貢献できるものと期待されています。

三井造船はコンテナリゼーションの幕開けとともに、1967年に日本で初めてのコンテナクレーンを神戸港へ納入以来、国内外に300基を超える納入実績を有しています。また、コンテナクレーンのみならず、コンテナ荷役効率向上に欠かせないコンテナヤード用トランスファークレーンおよびコンテナターミナルマネジメントシステムも豊富な納入実績を有しており、アフターサービスを含めたコンテナターミナルのトータルシステム企業として事業展開しています。

[問い合わせ先] 経営企画部 広報室 高岡 電話:03-3544-3147

名称		神戸港六甲アイランドコンテナ第6・7号岸壁向け	東京港大井埠頭第3・4パース向け
定格荷重	コンテナ	50 t(20 ft ツインリフトスプレッド)	61 t(20 ft ツインリフトスプレッド)
	重量物	90 t	70 t
全揚程		62 m(海側レール面上44 m,レール面下18 m)	66.1 m(海側レール面上48.6 m,レール面下17.5 m)
アウトリーチ		63.1 m	58 m
レールスパン		30.5 m	30 m
バックリーチ		15 m	15 m
契約基数		3	3

三井造船技報編集委員会

委員長 中谷 龍 男
委員 木澤 厚 夫
神 永 肇
倉 山 潔
速 水 礼
穴 倉 進
鎌 田 勤 也
佐 野 健 一
兼 本 浩

三 井 造 船 技 報

第211号

2014年(平成26年)2月28日発行
(年3回発行)

発行人 土井 宣 男
発行所 三井造船株式会社 技術開発本部
〒104-8439 東京都中央区築地5丁目6番4号
TEL 03-3544-3266
印刷 株式会社 三造ビジネスクリエイティブ
〒261-7128 千葉県千葉市美浜区中瀬2-6-1

三井造船株式会社

<http://www.mes.co.jp/>

本 社	〒 104-8439	東京都中央区築地 5 丁目 6 番 4 号	TEL 03-3544-3147
幕張センター	〒 261-7128	千葉県千葉市美浜区中瀬 2 丁目 6 番 1	TEL 043-351-8000
北海道支社	〒 060-0807	札幌市北区北七条西 4 丁目 5 番地 1(伊藤 110 ビル)	TEL 011-736-0036
東北支社	〒 980-0811	仙台市青葉区一番町 2 丁目 7 番 17 号(朝日生命仙台一番町ビル)	TEL 022-262-3481
中部支社	〒 450-0003	名古屋市中区名駅南 1 丁目 24 番 30 号(名古屋三井ビル)	TEL 052-582-0145
関西支社	〒 550-0004	大阪市西区靱本町 1 丁目 11 番 7 号(信濃橋三井ビル)	TEL 06-6447-2001
中国支社	〒 730-0051	広島市中区大手町 2 丁目 7 番 10 号(広島三井ビル)	TEL 082-248-0311
呉営業所	〒 737-0045	広島県呉市本通 3 丁目 5 番 18 号(メゾンロイヤル)	TEL 0823-25-7837
九州支社	〒 812-0011	福岡市博多区博多駅前 1 丁目 1 番 1 号(博多新三井ビル)	TEL 092-411-8111
東九州支店	〒 870-0027	大分県大分市末広町 1 丁目 1 番 18 号(ニッセイ大分駅前ビル)	TEL 097-537-9260
沖縄支店	〒 900-0033	沖縄県那覇市久米 2 丁目 4 番 16 号(三井生命那覇ビル)	TEL 098-869-3135
玉野事業所	〒 706-8651	岡山県玉野市玉 3 丁目 1 番 1 号	TEL 0863-23-2010
千葉事業所	〒 290-8531	千葉県市原市八幡海岸通 1 番地	TEL 0436-41-1112
大分事業所	〒 870-0395	大分県大分市日吉原 3 番地	TEL 097-593-3111
技術開発本部			
玉野技術開発センター	〒 706-0014	岡山県玉野市玉原 3 丁目 16 番 1 号	TEL 0863-23-3001
千葉技術開発センター	〒 290-8531	千葉県市原市八幡海岸通 1 番地	TEL 0436-41-1110
基盤技術センター	〒 706-0014	岡山県玉野市玉原 3 丁目 16 番 1 号	TEL 0863-23-3101
昭島研究センター	〒 196-0012	東京都昭島市つつじが丘 1 丁目 1 番 50 号	TEL 042-545-3111
つくば研究センター	〒 104-8439	東京都中央区築地 5 丁目 6 番 4 号	TEL 03-3544-3266
海外事務所	北京, ジャカルタ, ハノイ, クアラルンプール		
海外現地法人	三井造船ヨーロッパ株式会社(ロンドン)		
	三井造船(U.S.A.)株式会社		
	三井造船(上海)商貿有限公司		
	三井造船アジア株式会社(シンガポール)		

三井造船技報 第 211 号の発行に当たって

「三井造船技報」をご高覧いただき、ありがとうございます。

本誌は、当社が平素ご指導いただいている方々へ、最近の当社の新製品や、それを支える技術についてご紹介するものです。本誌の内容につきましては、更に充実を図る所存ですので、忌憚のない御意見を賜りましたら、大変幸甚です。

送付先の貴組織名、ご担当部署、所在地などにつきましては正確を期しておりますが、変更などがございましたら、以下にご記入の上、FAX でお知らせ頂きたくお願い申し上げます。

敬具

キ リ ト リ 線

FAX : 03 - 3544 - 3125

三井造船株式会社 技報編集委員会 事務局 行(TEL. 03 - 3544 - 3266)

三井造船技報 送付先の確認と第 211 号へのご意見等について

1. 送 付 先 : 従来通り 変更 削除 (いずれかに V を付けてください)

a) 旧送付先

所在地 〒 _____

組織名称 _____

担当部署 _____

旧送付先は、現在の宛先ラベルのコピーをここに貼付して頂いても構いません。

b) 新送付先

所在地 〒 _____

組織名称 _____

担当部署 _____

ご担当者 _____

TEL No. _____

FAX No. _____

2. 今後の編集に反映させていただくため、下記アンケートにご協力をお願いします。

(1) 本号で興味のある記事をお知らせください。(最初のページ No. で可。複数回答可)

技術論文・報告では

製品・技術ニュースでは

その他の記事では

(2) その他、ご意見・ご要望あれば、お聞かせください。

キ
リ
ト
リ
線

主要営業品目

船舶・艦艇事業本部 TEL 03-3544-3318 FAX 03-3544-3031

液化天然ガス（LNG）運搬船，液化石油ガス（LPG）運搬船，原油輸送船，石油精製品運搬船，ばら積貨物船，オープンハッチ型貨物船，鉾石運搬船，石炭運搬船，コンテナ船，自動車運搬船，FSO，FPSO，超高速貨物船，超高速カーフェリー，各種特殊船

修繕船，各種改造船工事，M & R エンジニアリング

護衛艦（DD），潜水艦救難母艦（AS），潜水艦救難艦（ASR），音響測定艦（AOS），輸送艦（LST），補給艦（AOE），掃海母艦（MST），海洋観測艦（AGS），巡視船，練習船，海洋気象観測船，漁業調査船，漁業取締船，海洋調査船，研究調査船，物理探査船，環境整備船，視察船，測量船，交通艇，消防艇，高速旅客船，深海探査ロボット（AUV，ROV），小型水中ロボット，水道管点検ロボット

自動艦位保持装置（DPS），システム操船装置，艦橋情報表示装置（ABS / IBS），舵減揺装置，船体運動状態表示装置（SMACS），航海情報表示装置，フィンスタビライザー，中折式デッキクレーン，赤外線低減装置，弾薬搭載機材，補機制御表示装置，機関操縦装置，水中放射雑音シミュレータ，防火防水実習場，各種訓練水槽，操船シミュレータ

橋梁，ハイブリッド構造物（浮防波堤，浮消波堤，浮棧橋，浮体式係船岸，ケーソン），海洋構造物（シーバース，ケーソン，沈埋函，ジャケット），浮体式海洋設備

船舶運航支援のポータルサービス

機械・システム事業本部 TEL 03-3544-3950 FAX 03-3544-3055

船用ディーゼル機関

往復動圧縮機，バイナリー発電設備，蒸気タービン，炉頂圧回収タービン，軸流・遠心式圧縮機

鍛造前誘導加熱装置（ピレットヒータ，バーヒータ，ピンヒータ他），鉄鋼・非鉄分野向誘導加熱装置（薄板加熱装置，銅管焼鈍装置，線材加熱装置），高周波電源装置（PWM インバータ，サイリスタインバータ，トランジスタインバータ，ゾーンコントロール用電源）

遠隔操作マニピュレータおよびその周辺機器，センシング機器（地中埋設物・建築物探査レーダ，太陽追尾採光システム，複合材剝離検査器），レーダ探査サービス，水理実験設備，塔，槽，熱交換器，回転式乾燥機

IT を活用した各種設備・機器のリモートモニタリングサービス・診断サービス・情報サービス，各種設備・機器の包括ノ一括メンテナンスサービス，各種技術サービス（運転及びメンテナンスにかかわる技術指導・工事指導・工事施工），LSS（ライフサイクルソリューションサービス：陸・船用ディーゼルエンジン，ガスタービン，各種ボイラ，プロセス用圧縮機，蒸気タービン発電設備，炉頂圧タービン発電設備，プロセス機器，誘導加熱装置，各種クレーンの保守，改造用部品・機器の供給，性能改善・改造工事・延命工事などのエンジニアリング・サービスと施工）

SiC ウェハー，CVD-SiC コーティング，SiC 製半導体装置用部品

岸壁用コンテナクレーン，ヤード用コンテナクレーン，船用ガントリークレーン，ローダー，アンローダー（連続式，グラブバケット式），ジブクレーン，天井クレーン，コンテナターミナルマネジメントシステム

次世代リチウムイオン電池正極材

エンジニアリング事業本部 TEL 043-351-8000 FAX 043-351-8111

プラントのエンジニアリング及び建設工事（石油化学，化学繊維，合成樹脂，石油精製，ガス製造・精製，無機化学，化学肥料，石炭化学，発酵関連，ファインケミカル，代替エネルギー関連），プラント要素技術（加熱炉，分解炉，分解ガスクエンチャー，高粘度流体脱揮装置），エンジニアリング支援システム，フィージビリティスタディ，プラントメンテナンス，SDM 工事

海外土木・建築工事全般，特殊構造物，風力発電設備工事，海外橋梁

ガスタービン発電設備，ガスエンジン発電設備，ディーゼルエンジン発電設備，太陽熱発電設備，バイオマス発電設備，各種コージェネレーションプラント，バイオエタノール設備

三井リサイクリング 21（キルン式ガス化溶解システム），廃棄物処理関連（流動床式焼却炉，粗大ごみ処理施設，リサイクルセンター，加熱脱塩素化装置，ダイオキシン分解触媒，炭化炉，PCB 処理），ガス処理関連（脱塩，集塵）

水処理関連（産業排水，汚泥），ガス処理関連（排煙脱硫，排煙脱硝，脱臭），廃棄物再資源化システム（焼酎廃液，有機性廃棄物からのメタン発酵，コンポスト及び乾燥装置），バイオガスプラント（生ごみ・汚泥バイオガスプラント，油温減圧乾燥式食品廃棄物再資源化システム，家畜糞尿再資源化システム）

夢を海風にのせて

浮体式洋上風力発電所が本格稼働開始

洋上で発電した電力を海底ケーブルを経由して陸上へ

昨年（H25年）6月千葉事業所を出港した2 MW級洋上風力発電施設は、小名浜での調整作業を行った後、広野沖東20 km地点での係留チェーン敷設作業を完了し、12月より洋上浮体式変電施設（JMU）を経由して、送電を開始しました。発生した電力は発電施設、洋上変電所、楢葉町の陸上変圧施設間を結ぶ20 km以上の海底ケーブルを経由して送電されます。

これら施設は経済産業省委託業務「福島復興・浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業」の一環として建造、設置されました。今後7 MW級風力発電施設が2基設置され、世界初の浮体式洋上ウィンドファームを形成する予定です。洋上の設備には環境データや挙動データを収集するシステムも搭載しており、収録データは実証研究や保守管理用として活用されます。

